Facoltà di Ingegneria – Università degli Studi di Siena
Laurea Magistrale in "Ingegneria Gestionale"

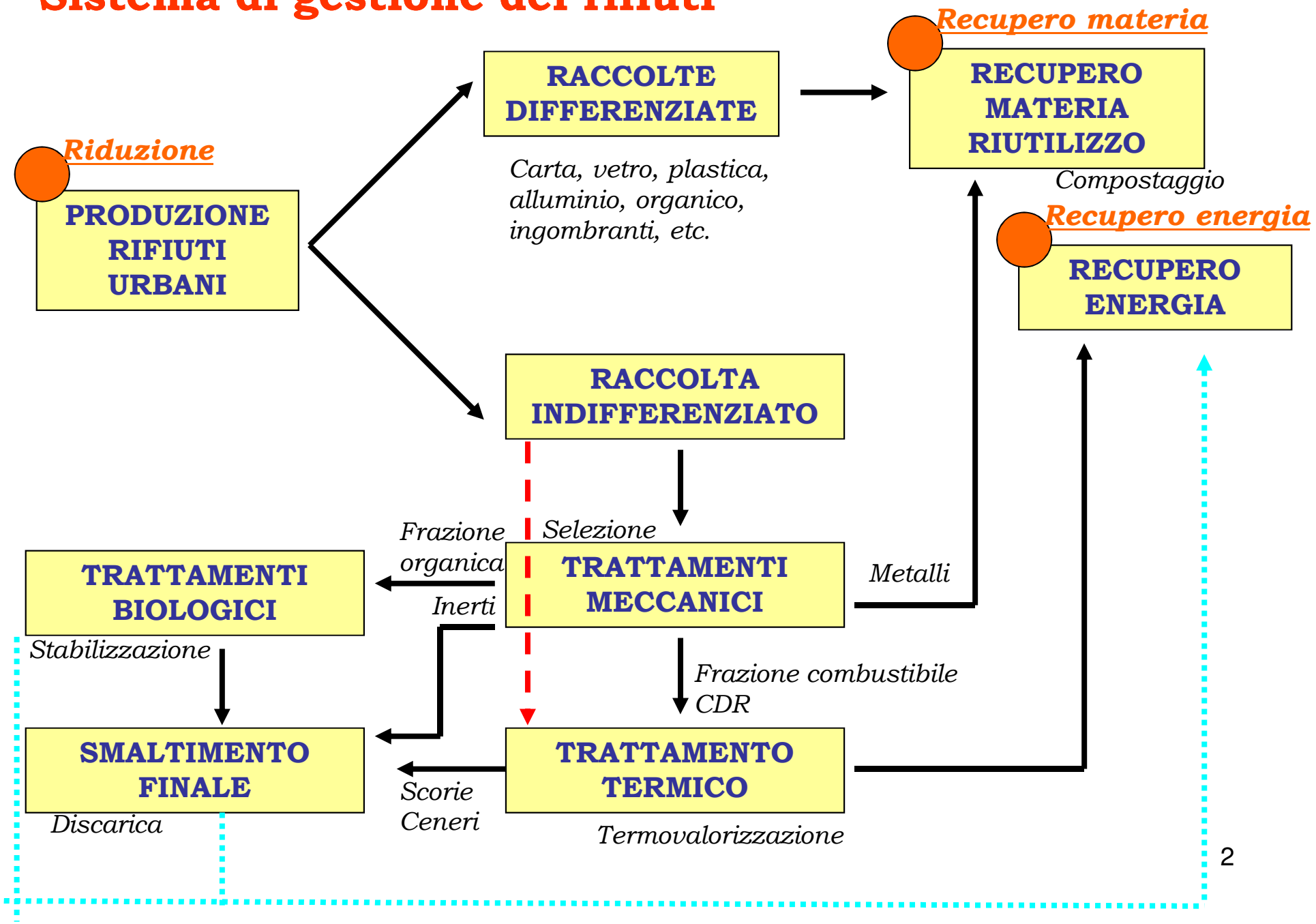
Corso di

Gestione dei Servizi e delle Tecnologie Ambientali (GS&TA)

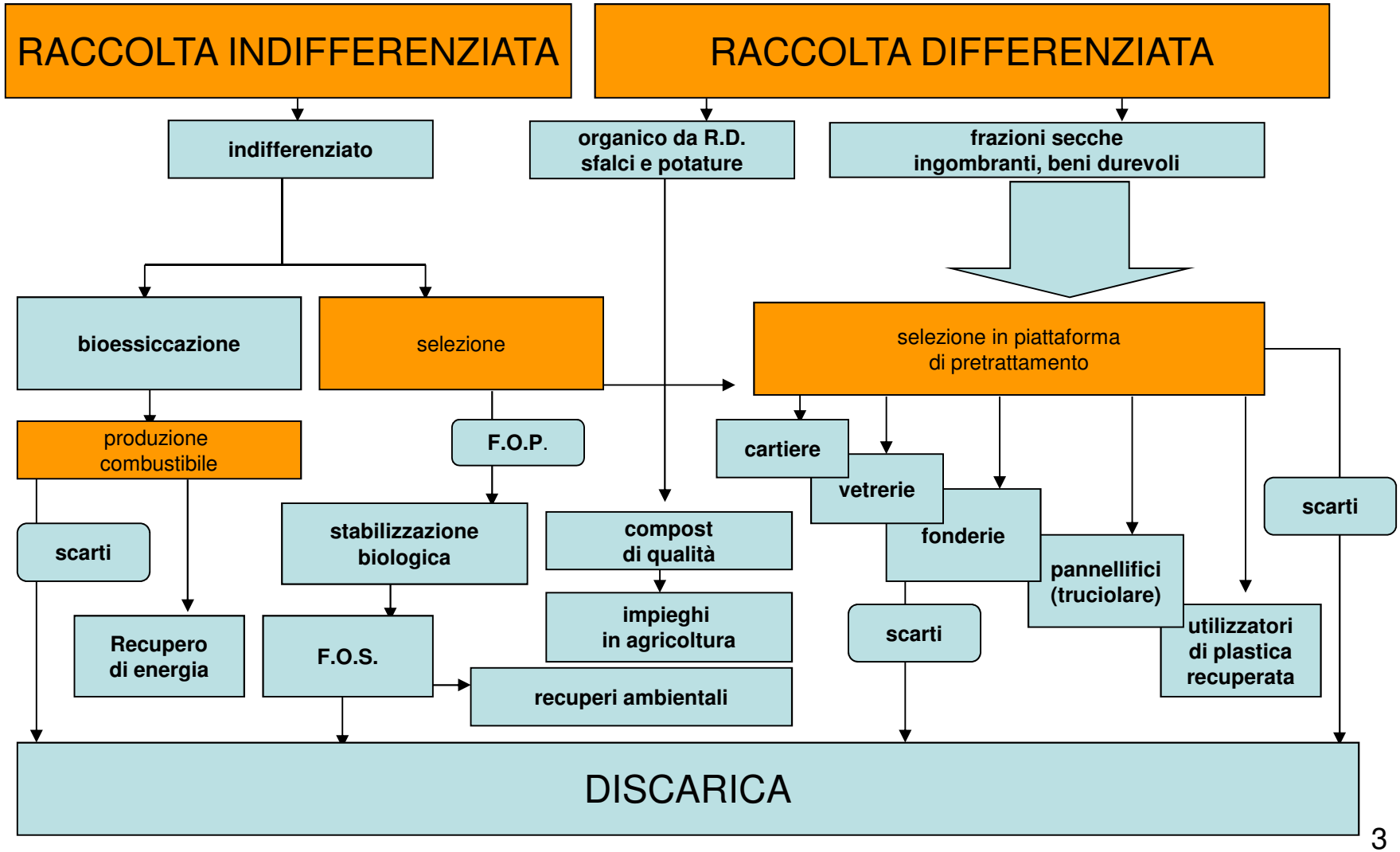
Trattamenti Meccanico Biologici dei Rifiuti

Prof. Ing. Andrea Corti (corti@dii.unisi.it)

Sistema di gestione dei rifiuti



Pre-trattamenti meccanici



Sistemi di selezione

I sistemi di selezione sono principalmente costituiti da:

- Raccolta separata dei flussi (**raccolta differenziata**);
- **Selezione meccanica**
- **Cernita manuale**

Pre-trattamenti meccanici

Un sistema di pre-trattamento dei rifiuti è l'insieme delle operazioni atte a predisporre il materiale alle operazioni successive, che possono essere di trattamento, recupero, riciclo, termovalorizzazione, smaltimento finale.

Se il rifiuto proviene da raccolta differenziata, le tecnologie utilizzate sono più semplici e meno costose, perché il materiale ha già subito un importante processo di selezione all'origine.

I pre-trattamenti possono avere come obiettivo:

- la separazione di frazioni omogenee, nel caso di raccolta multimateriale;
- il miglioramento della qualità del materiale raccolto;
- la selezione dello stesso materiale in frazioni con caratteristiche differenti, da inviare a impianti distinti.

Pre-trattamenti meccanici

I rifiuti residuali dalla raccolta differenziata, e i rifiuti “tal quali” (non raccolti in maniera differenziata) presentano maggiori difficoltà tecnico-operative di trattamento: si tratta infatti di un insieme di materiali eterogenei e, a causa della loro commistione in fase di raccolta e trasporto, subiscono un reciproco “imbrattamento”.

I pre-trattamenti possono avere come obiettivo:

- la separazione e il parziale recupero di materiali (inerti, metalli, frazione organica, carta, plastica, vetro, legno, tessili, etc.);
- la riduzione della quantità di materiale da inviare in discarica;
- il miglioramento delle caratteristiche di combustibilità (riduzione umidità e inerti, innalzamento del potere calorifico);
- la stabilizzazione del materiale;
- ottimizzare i trattamenti successivi;
- separare materiali pericolosi (Rifiuti Urbani Pericolosi) o indesiderati per i trattamenti successivi.

Pre-trattamenti meccanici

Le fasi principali di un sistema di pre-trattamento meccanico e le relative tecnologie di comune utilizzo sono:

• Riduzione dimensionale, operata mediante i trituratori

• Separazione delle componenti secondo differenti caratteristiche:

1. Dimensioni (vagli)
2. Proprietà gravimetriche (classificatori e separatori balistici)
3. Proprietà magnetiche (separatori magnetici ed elettrostatici)

• Compattazione, mediante imballatrici, pellettizzatrici, bricchettatrici…

Pre-trattamenti meccanici: RIDUZIONE DIMENSIONALE - TRITURAZIONE

La riduzione dimensionale permette di ridurre la pezzatura dei rifiuti, ottenendo prodotti con pezzatura contenuta entro opportuni limiti, al fine di agevolare le successive operazioni di trattamento.

Le apparecchiature sono di tipo meccanico dette “trituratori”, che agiscono sul materiale impiegando appositi utensili e comportando azioni di macinazione e taglio dei componenti del rifiuto medesimo.

I trituratori si differenziano prevalentemente in base all’utensile di cui sono dotate, o al diverso numero di utensili di cui sono equipaggiati, o alla rispettiva velocità di movimento.

I più comuni trituratori sono i **mulini a martelli** e i **trituratori a coltelli** o **cesoie**.

Pre-trattamenti meccanici: RIDUZIONE DIMENSIONALE - TRITURAZIONE

Trituratori a coltelli

Nel caso di immissione di materiali non triturabili o inerti (metalli, vetri, pezzi di cemento, ecc..) il sistema potrebbe bloccarsi o subire danneggiamenti. Sono previsti sistemi automatici anti-inceppamento: nel caso di arresto degli assi, si ha un'inversione automatica del senso di rotazione degli assi stessi per alcuni giri, in maniera liberare il sistema automaticamente. Nel caso di ripetizione del problema al riavvio, si ha l'interruzione e l'intervento manuale dell'operatore.

Si tratta di macchine sottoposte a forte usura degli utensili, quindi richiedono numerosi pezzi di ricambio e operazioni frequenti di manutenzione.

Esempio di trituratore aprisacchi

Esempio di trituratore

Pre-trattamenti meccanici: RIDUZIONE DIMENSIONALE - TRITURAZIONE

La scelta della tipologia di trituratore più idoneo avviene solitamente sui seguenti parametri:

• portata oraria del rifiuto da trattare (parametro che influenza direttamente anche i consumi elettrici)

• pezzatura finale del prodotto da ottenere

I sistemi di riduzione dimensionale possono essere utilizzati:

• nella fase iniziale di selezione. Ad esempio, per i rifiuti da raccolta differenziata: per triturare i rifiuti ingombranti, separati “a pavimento” all’arrivo all’impianto, o per i rifiuti per i quali è richiesta la pre-triturazione prima della vagliatura o della selezione manuale. Per i rifiuti da raccolta indifferenziata, per l’apertura dei sacchi e la rottura dei materiali prima della vagliatura;

• nella fase di post –trattamento meccanico, per sminuzzare ulteriormente il residuo combustibile ottenuto alla fine del ciclo, o come trattamento di preparazione dello stesso a un’eventuale fase di pressatura.

Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE

A seguito della riduzione dimensionale, i materiali presenti nel rifiuto vengono tra loro separati sfruttando le diverse proprietà fisiche da essi possedute, quali:

- dimensioni
- densità, resistenza aerodinamica, inerzia
- magnetismo, conduttività elettrica
- proprietà ottiche.

Sottoponendo il rifiuto a successive selezioni tra loro in cascata, si tende ad isolare i suoi componenti al fine di ottenere singoli prodotti con accettabili gradi di purezza.

Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE DIMENSIONALE - VAGLIATURA

L'operazione di separazione dimensionale viene comunemente definita "vagliatura" e si basa sulle differenti dimensioni che caratterizzano i materiali contenuti nel rifiuto trattato.

I vagli separano i materiali per pezzatura, attraverso il passaggio attraverso uno o più corpi dotati di fori appositi (si hanno quindi vagli mono- o pluri-stadio).

Le apparecchiature di vagliatura più diffuse sono i vagli a tamburo, i vibrovagli ed i vagli a dischi.

Il flusso entrante in un separatore dimensionale (vaglio), viene suddiviso in due flussi distinti chiamati:

- **sottovaglio** (o **sovvallo**): è il materiale raccolto nelle tramogge sottostanti il separatore
- **sopravaglio**: è la parte di materiale che rimane sopra le "maglie" di separazione e giunge dall'estremità della macchina.

Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE DIMENSIONALE - VAGLIATURA

Vagli a tamburo

Sono la tipologia di vagli di più diffuso impiego, per la loro elevata versatilità. Si distinguono in diversi modelli e taglie, a seconda della lunghezza, del diametro del tamburo, dell'inclinazione dell'asse, della velocità di rotazione e dell'apertura delle maglie.

Il rifiuto viene immesso all'estremità più alta del cilindro (o tamburo); per effetto della rotazione e dell'inclinazione, il rifiuto viene rivoltato più volte e attraversa il cilindro per tutta la sua lunghezza, venendo più volte in contatto con la maglia del vaglio.

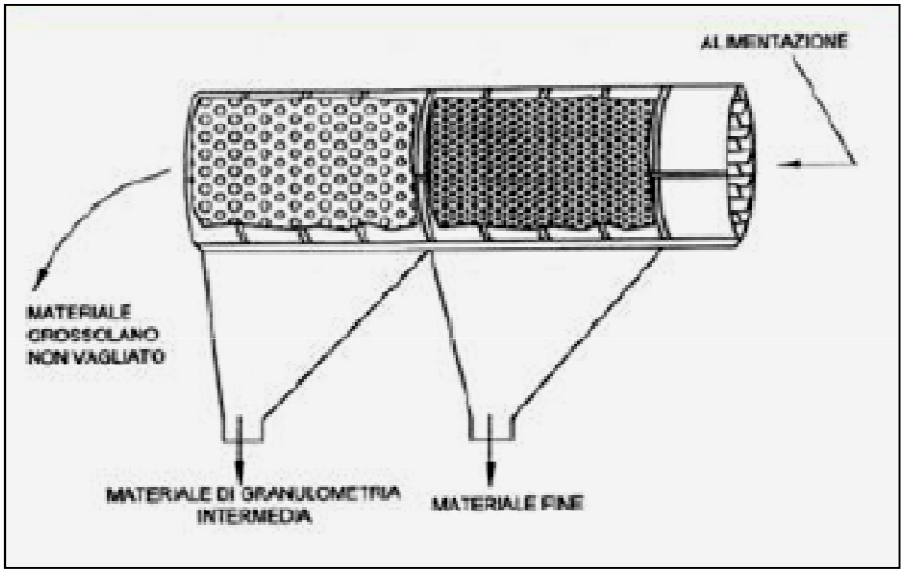
Le particelle più minute (le dimensioni variano tra 2 e 10 cm, a seconda del diametro dei fori delle maglie) attraversano la parete del vaglio e vengono raccolte all'interno della tramoggia sottostante, mentre il materiale più grossolano, rimanendo all'interno del vaglio, raggiunge l'altra estremità del tamburo.

Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE DIMENSIONALE - VAGLIATURA

Vagli a tamburo

Disponendo di seguito, lungo l'asse del cilindro, sezioni con maglie con dimensioni progressivamente crescenti, si separano frazioni di materiale a diversa granulometria.

All'interno del cilindro possono essere presenti lame metalliche atte a consentire, ad esempio, la rottura dei sacchetti contenenti i rifiuti, migliorando pertanto le prestazioni dell'operazione di vagliatura.

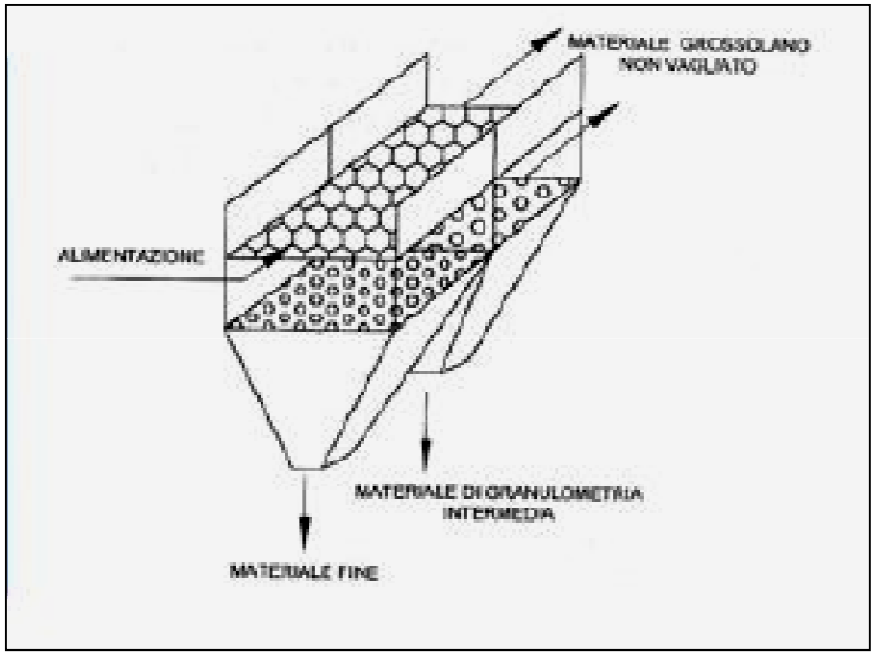


Vaglio a tamburo.

Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE DIMENSIONALE - VAGLIATURA

Vibrovagli

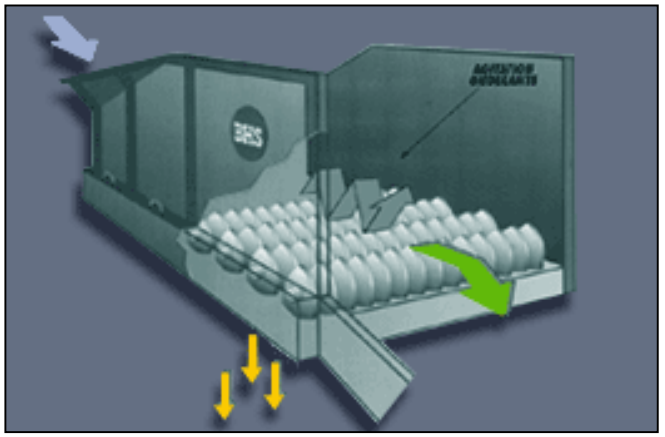
Hanno una intelaiatura fissa di sostegno e una cassa oscillante dotata di una griglia forata posta alla base. Al di sotto di questa trovano alloggiamento una o più piastre forate, disposte sullo stesso piano oppure su piani sfalsati, con relative tramogge di raccolta del materiale, e dotate di fori con diametro crescente da monte verso valle, rispetto alla direzione data dall'inclinazione del piano di vaglio.



Vibrovaglio.

La granulometria del prodotto separato dipende dall'ampiezza e dalla frequenza delle oscillazioni, dall'inclinazione del piano di vaglio e dalla dimensione dei suoi fori (solitamente variabile da 2 a 10cm).

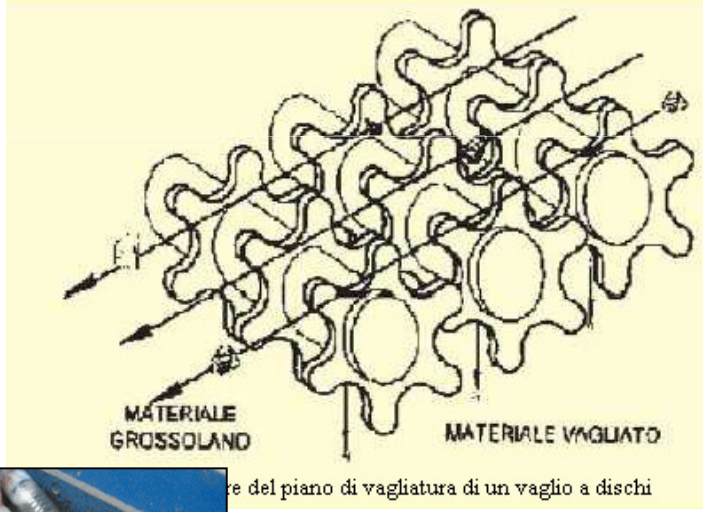
Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE DIMENSIONALE - VAGLIATURA



Vaglio a dischi per corpi cavi

Vagli a dischi

Sono sistemi più recenti dei precedenti, e sono impiegati in particolare nei settori di trattamento dei prodotti cartacei e plastici provenienti dalla raccolta differenziata, e nel trattamento del rifiuto solido misto.
Sono formati da più assi rotanti paralleli, montati orizzontalmente su uno stesso piano. Sugli assi sono montati dischi di varia sagoma (ovali, esagonali, ecc...), che formano una sorta di griglia. Lo spazio lasciato tra i dischi funge da fattore discriminante nella vagliatura dei materiali: quelli di maggiori dimensioni vengono sospinti dalla rotazione dei dischi lungo il piano di vagliatura verso l'uscita della macchina, mentre i materiali più fini e pesanti passano attraverso il setaccio cadendo in un apposito vano di raccolta.



re del piano di vagliatura di un vaglio a dischi

Vaglio a disco per rifiuto domestico

Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE DIMENSIONALE - VAGLIATURA

L'operazione di separazione dimensionale, a seconda della provenienza del rifiuto e della collocazione della fase di vagliatura all'interno del ciclo di pre-trattamento, consente, ad esempio:

- di separare i materiali ingombranti da quelli più minuti
- di suddividere il rifiuto tra materiali combustibili leggeri (la cosiddetta "frazione secca") e quelli pesanti non combustibili (frazione umida)
- di separare vetro e sabbia dai materiali combustibili
- di separare carta e plastica dal vetro e dai metalli.

Nel caso di rifiuto proveniente da raccolta indifferenziata, i vari tipi di vagli esaminati consentono di separare il rifiuto in due flussi distinti:

- la frazione più pesante (sottovaglio) contiene, in genere, metalli, legno, inerti e vetro
- la frazione più leggera (sopravaglio), risulta costituita principalmente da carta, plastica e sostanza organica putrescibile.

Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE GRAVIMETRICA

CLASSIFICATORI E SEPARATORI BALISTICI

I principali sistemi impiegati per la separazione gravimetrica sono:
- classificatori ad aria
- classificatori a letto fluido
- separatori balistici.

La separazione gravimetrica avviene solitamente su rifiuti precedentemente sottoposti a trattamenti di triturazione e vagliatura.

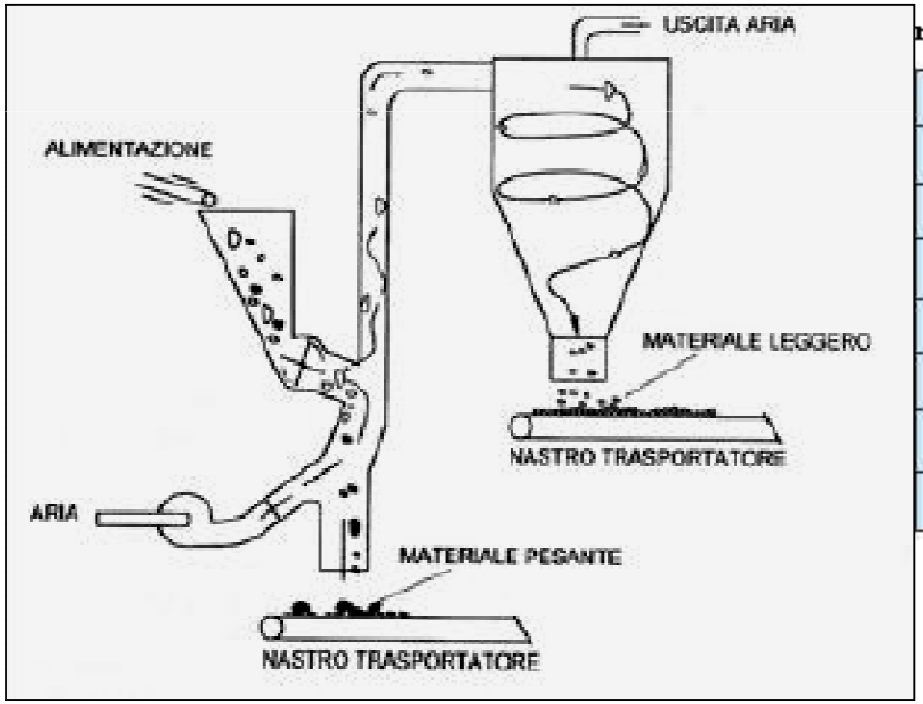
Si tratta quindi di un materiale sminuzzato e già distinto nelle due frazioni principali: il sottovaglio è più pesante perché contiene, in genere, metalli, legno, inerti e vetro, mentre il sopravaglio è più leggero, in quanto costituito principalmente da carta, plastica.

Permette un'ulteriore separazione, ottenuta sfruttando le differenti caratteristiche del rifiuto, in termini di densità, resistenza aerodinamica, inerzia.

Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE GRAVIMETRICA

Classificatori ad aria (o separatori aeraulici)

I rifiuti e l'aria vengono convogliati in canali che possono avere differenti conformazioni, e vengono quindi separati in base alle caratteristiche gravimetriche.
Per estrarre il materiale solido leggero trasportato dall'aria, si abbina solitamente ai classificatori un sistema a ciclone ed eventualmente un trattamento per mezzo di un filtro a maniche.



Classificatore ad aria con ciclone separato.

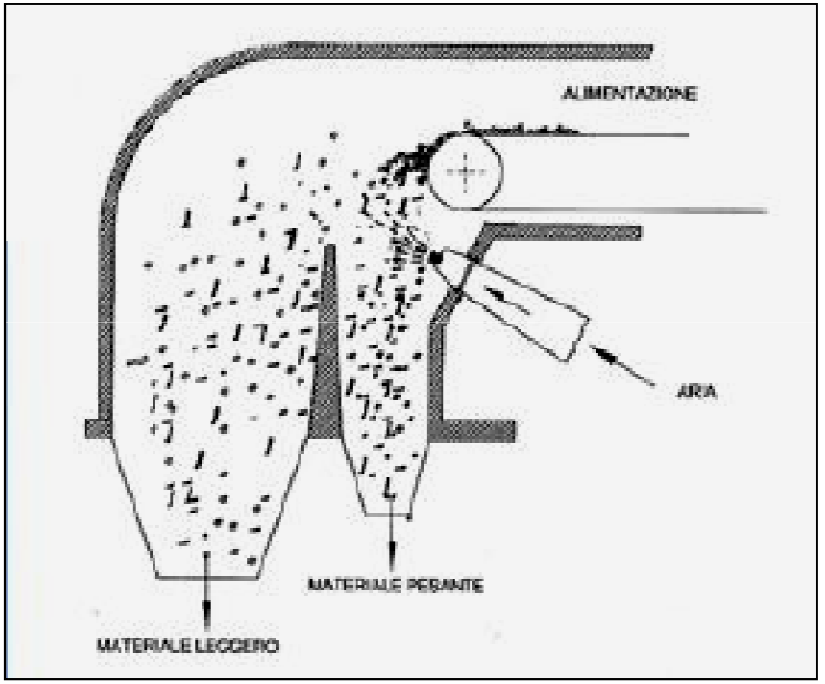
Efficienza di intercettazione delle frazioni del rifiuto di un separatore aeraulico

Frazioni	% intercettazione separatore
organico	70%
carta	6%
plastica	5%
vetro + inerti	97%
metalli	97%
legno	6%
sottovaglio	70%

Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE GRAVIMETRICA

Classificatori ad aria
(o separatori aeraulici)

Il classificatore “a coltello” ha una configurazione dei flussi differente e si utilizza nel caso il materiale da trattare costituito da particelle con dimensioni relativamente uniformi. Il flusso di rifiuto entra nel separatore orizzontalmente tramite alimentatore a nastro, e inizia la propria caduta; viene violentemente attraversato da un getto d’aria inclinato verso l’alto che ne trascina con sé le componenti più leggere, spostandole più avanti, rispetto al senso di avanzamento orizzontale del materiale, mentre quelle più pesanti continuano la loro caduta. Due tramogge di raccolta, disposte a differente distanza, raccolgono due flussi di materiale, pesante e leggero, relativamente ben distinte.



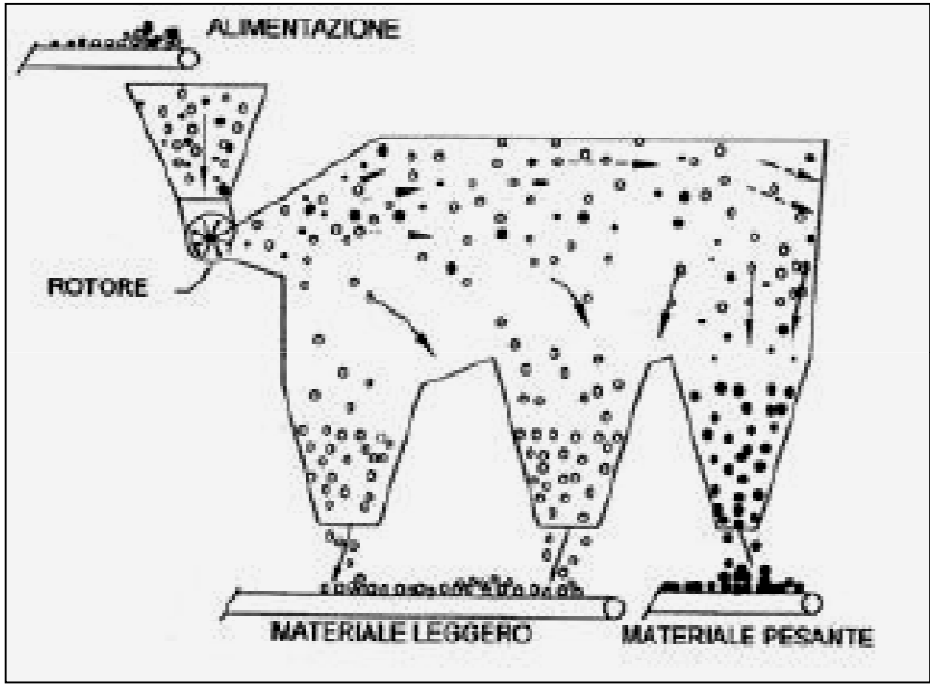
Classificatore ad aria a “coltello”.

Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE GRAVIMETRICA

Separatori balistici

I separatori balistici sono in grado di compiere la separazione delle parti del rifiuto trattato sfruttando le differenze di densità e di elasticità esistenti tra ciascuna di queste.

In un separatore balistico che sfrutta le differenze di densità dei materiali il rifiuto da trattare viene caricato in un'apposita tramoggia e quindi prelevato in piccole quantità da un dispositivo rotante che ne impone una forte accelerazione proiettandolo al di sopra delle bocche di diverse tramogge poste alla base di una camera chiusa. La classificazione delle componenti avviene in base alla distanza raggiunta da ciascuna di esse a seguito del lancio: i materiali più leggeri percorrono una distanza minore, mentre quelli più pesanti seguono traiettorie più lunghe.



Separatori balistici per differenza di densità.

Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE GRAVIMETRICA

Nei separatori aeraulici i flussi d'aria richiesti possono essere elevati, ciò implica consumi energetici non marginali. Sono adatti a flussi medi (inferiori a 15 tonnellate/ora).

I separatori gravimetrici hanno dimensioni più elevate dei precedenti, e rendimenti di selezione non elevati. Possono però separare anche un sottovaglio fine. Sono adatti a flussi bassi (inferiori a 10 tonnellate/ora).

Entrambi hanno rendimenti accettabili su materiali con pezzatura costante (inferiore a 25 cm). Possono essere di difficile messa a punto. Sono utilizzati in particolare per separare gli inerti.

Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE MAGNETICA

Separatori magnetici: deferrizzatori

La frazione di materiale ferroso presente in un insieme di diversi materiali (rifiuti tal quali o pretrattati, residui di incenerimento, prodotti provenienti da raccolta differenziata…) può essere separata per mezzo di magneti permanenti o elettromagneti. La tecnica è impiegata ampiamente, e permette efficienze di separazione superiori al 95%.
Le principali tipologie di apparecchiature sono del tipo a tamburo o a nastro.

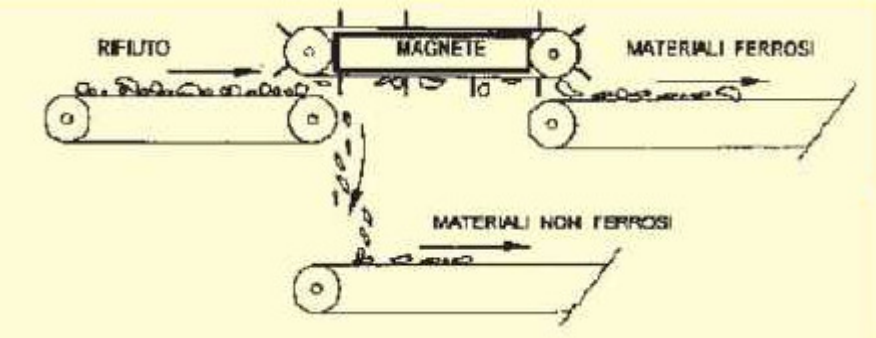
I separatori a magneti sono utilizzati per separare i metalli ferrosi. Sono adatti per lavorare su materiali a pezzatura uniforme, e permettono di ottenere ferro esente da plastiche, stoffa, carta.

Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE MAGNETICA

Separatori magnetici: deferrizzatori

Separatore magnetico a nastro (overbelt a magnete permanente e a elettromagnete)

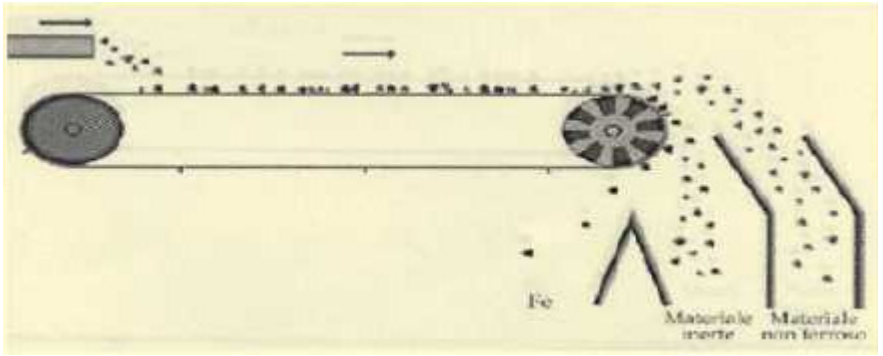
Il materiale da trattare è movimentato da un trasportatore orizzontale a nastro. In prossimità dell'estremità di scarico è opportunamente disposto, un po' più in alto, un secondo nastro trasportatore, palettato, avente un magnete tra i due rulli di traino. Il materiale ferroso presente nel prodotto da trattare, attratto dal magnete, resta adiacente al nastro palettato, e viene trasportato in una zona di raccolta, mentre il materiale non ferroso cade subito all'uscita dal primo nastro.
Il magnete può essere permanente o un elettromagnete.



Pre-trattamenti meccanici: SEPARAZIONE MAGNETICA

Separatore per metalli non ferrosi – a correnti indotte

Oltre alla separazione dei metalli ferrosi dal rifiuto, è possibile recuperare i metalli non ferrosi, quali l'alluminio, il rame, l'acciaio inox puro, l'ottone, ecc...
Il separatore per metalli non ferrosi è detto anche "**a correnti indotte**" o **ECS** (**Eddy Current System**).
Il sistema si basa sul seguente principio fisico: i componenti metallici, esposti a un campo magnetico ad alte frequenze, sono percorsi da correnti di Foucault che creano un campo magnetico che si oppone alla causa che l'ha generato. Risulta quindi risulta una forza di repulsione che tende ad allontanarli dalla sorgente del campo magnetico.



Pre-trattamenti meccanici: COMPATTAZIONE

Esempio di pressa
Modello di pressa indicato per grandi recuperatori e centri di lavorazione rifiuti.
Per imballare grandi quantità di rifiuti assimilabili secchi oltre che rifiuti solidi urbani tal quale.

Esempio di pressa

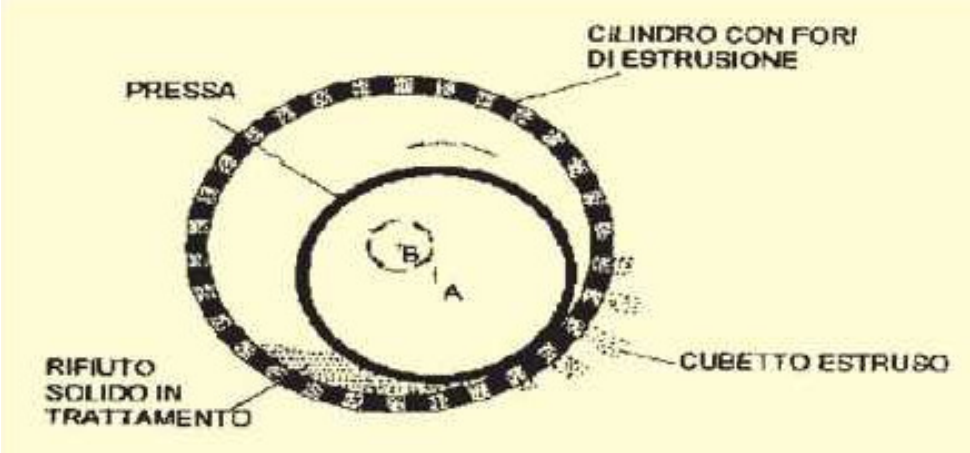
Pressa per imballaggio di grandi quantità di carta, cartone, plastica, rifiuti assimilabili.

Pre-trattamenti meccanici: COMPATTAZIONE

Bricchettatrici, pellettizzatrici

Le tecnologie sono adatte a flussi contenuti (< 7 ton/h) e pezzatura inferiore a 15 cm, senza metalli.
Si tratta di tecnologie costose.

Pressa rotante eccentrica: un asse, rotante con moto eccentrico all'interno di un cilindro dotato di fori di estrusione, forza il materiale, inserito tra i due corpi, a passare attraverso i fori.
Il materiale subisce un'azione di coesione, cosicché il materiale è in grado di mantenere la forma di blocchetto o cilindretto, e un riscaldamento, con conseguente riduzione dell'umidità.



Impianti meccanici di selezione dei rifiuti indifferenziati:

I principali tipi di impianti di selezione meccanica sono realizzati per rispondere alle seguenti esigenze:

a) **separare dal flusso principale il materiale fine** (<20 mm) costituito in varia misura da organico putrescibile e da una frazione secca;

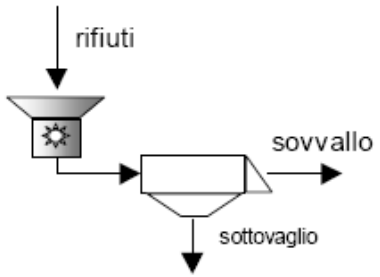
b) **produrre FOP (Frazione Organica Putrescibile)** da inviare a biotrattamento separando il materiale fine ed il materiale secco di sovvallo;

c) **produrre una frazione ad alto potere calorifico separando la frazione fine e la FOP**, ovvero attraverso processi di essiccazione o di bioessiccazione da cui con successivi trattamenti si può ottenere Combustibile Derivato da Rifiuti) CDR a norma.

Impianti meccanici di selezione dei rifiuti indifferenziati: TIPO A

Gli impianti di tipo A sono costituiti almeno da:

1. **macchine** per la riduzione della pezzatura (trituratori o rompisacchi) fino a quella compatibile con le lavorazioni successive;
2. **vagli** rotanti e vibranti.

TIPO	provenienza del materiale	OPERAZIONI E SCHEMA		trattamento successivo			
	sistema integrato di raccolta	riduzione massime dimensioni	vagliatura fine	sovvallo		sottovaglio	
A	obbiettivi del trattamento ottenere un sovvallo che può migliorare il funzionamento e le prestazioni dei termoutilizzatori; migliorare il rendimento e i prodotti dei trattramenti successivi			termoutilizzazione diretta // discarica //		eventuale stabilizzazione e deposito in discarica	

Impianti meccanici di selezione dei rifiuti indifferenziati: TIPO A

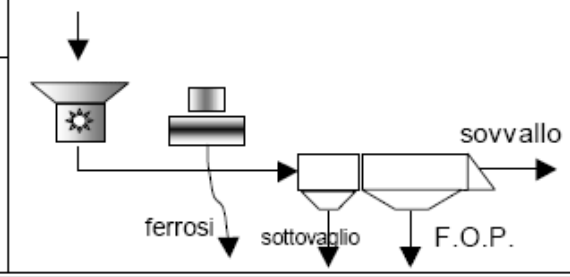
Da tali impianti si ottengono due prodotti:

1. un **sovvallo** che può:
   - **migliorare** il funzionamento e le prestazioni dei Termovalorizzatori;
   - **diminuire** l'impatto ambientale in caso di conferimento in discarica;
   - **migliorare** il rendimento di successivi impianti di selezione più spinta;
2. un **sottovaglio fine** che:
   - deve essere stabilizzato e/o successivamente selezionato;
   - non può essere messo a discarica senza una stabilizzazione biologica.

Impianti meccanici di selezione dei rifiuti indifferenziati: TIPO B

Gli impianti di tipo B sono costituiti almeno da:

1. **macchine** per la riduzione dimensionale;
2. **deferizzatori**;
3. **vagli** a più stadi.

	provenienza del materiale sistema integrato di raccolta	riduzione massime dimensioni	deferrizzazione	vagliatura fine separazione della F.O.P.	sovvallo	FOP	sottovaglio	ferrosi
B	bioessiccazione obbiettivi del trattamento ottenere un sovvallo che può migliorare il funz. dei termoutilizzatori; migliorare il rendimento e i prodotti dei trattamenti successivi;				produzione di CDR termoutilizzazione diretta // discarica	(se non già bioessiccata) biotrattamento // quindi utilizzo come terra di copertura in discarica	eventuale stabilizzazione e deposito in discarica	utilizzazione

Impianti meccanici di selezione dei rifiuti indifferenziati: TIPO B

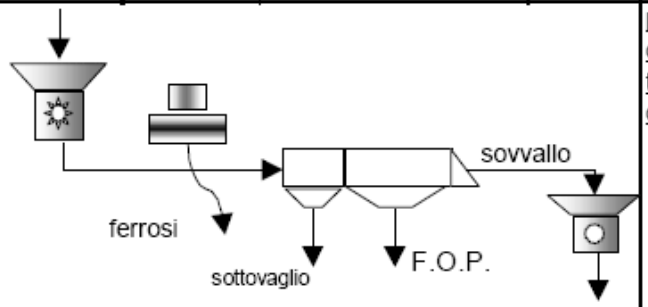
Da tali impianti si ottengono:

1. **un sovvallo** costituito dalla frazione secca che:
   - ha un potere calorifico elevato e minore concentrazione di inquinanti e pertanto può **migliorare** il funzionamento e le prestazioni dei Termovalorizzatori;
   - **diminuire** l'impatto ambientale in caso di conferimento in discarica;
   - **migliorare** il rendimento di successivi impianti di selezione più spinta;
2. **una FOP** che può essere utilizzata, dopo stabilizzazione biologica, come **materiale di copertura per discariche**;
3. **materiali ferrosi** che possono essere inviati al riutilizzo;
4. **un sottovaglio fine**.

Impianti meccanici di selezione dei rifiuti indifferenziati: TIPO C

Gli impianti di tipo C sono costituiti da:

1. **macchine** per la riduzione dimensionale;
2. **deferizzatori**;
3. **vagli** anche a più stadi;
4. **trituratori** della frazione secca per ottenere una pezzatura compatibile con la tecnologia di termoutilizzatori.

	provenienza del materiale sistema integrato di raccolta	riduzione massime dimensioni	deferrizzazione	vagliatura fine separazione della F.O.P.	triturazione	sovvallo triturato	FOP	sottovaglio	ferrosi
C	bioessiccazione obbiettivi del trattamento ottenere un sovvallo che può migliorare il funz. dei termovalorizzatori; migliorare il rendimento e i prodotti dei trattamenti successivi;					produzione di CDR // termoutilizzazione diretta	biotrattamento // biotrattamento integrato con la depurazioone	eventuale stabilizzazione e deposito in discarica	utilizzazione

Impianti meccanici di selezione dei rifiuti indifferenziati: TIPO C

Da tali impianti si ottengono:

1. **materiale ad alto potere calorifico** che:
   - può **migliorare** il funzionamento e le prestazioni dei Termovalorizzatori;
   - **diminuire** l'impatto ambientale in caso di conferimento in discarica;
   - può essere **stoccato** e successivamente riutilizzato;
2. un **sottovaglio** che:
   - deve essere stabilizzato e/o successivamente selezionato;
   - non può essere messo in discarica;
3. **materiali ferrosi** che possono essere inviati al riutilizzo.

Impianti meccanici di selezione dei rifiuti indifferenziati

Il pretrattatamento è un tassello non essenziale dell'intera filiera di gestione dei rifiuti, la cui necessità va valutata caso per caso nel contesto specifico di ciascuna realtà territoriale (ATO).

C'è distinzione fra:

1. Pretrattamento "leggero"
2. Pretrattamento finalizzato alla produzione di **CDR**.

Scopi:

- **produzione di CDR** a norma di legge, da utilizzare in co-combustione in impianti industriali o per la termovalorizzazione in forni dedicati (comunque fuori dall'ambito di pianificazione pubblica);
- **Riduzione flussi** a termovalorizzazione;
- **omogeneizzazione** delle caratteristiche del rifiuto prima della sua termovalorizzazione in un impianto dedicato;
- **riduzione** del contenuto di umidità e della putrescibilità del materiale, ai fini di una migliore gestione successiva (stoccaggio, trasporto).

Piattaforme per il recupero dei materiali

Le piattaforme per il recupero dei materiali provenienti dalle **raccolte differenziate** sono impianti di selezione atti a separare miscele di materiali diversi ed a migliorarne la qualità ai fini dell'utilizzazione nelle specifiche filiere di riciclaggio.

Tali attività non rientrano entro il perimetro di privativa pubblica.

Si possono distinguere **2 tipi di piattaforme** di recupero di materiale.

Piattaforme per il recupero dei materiali: I tipo

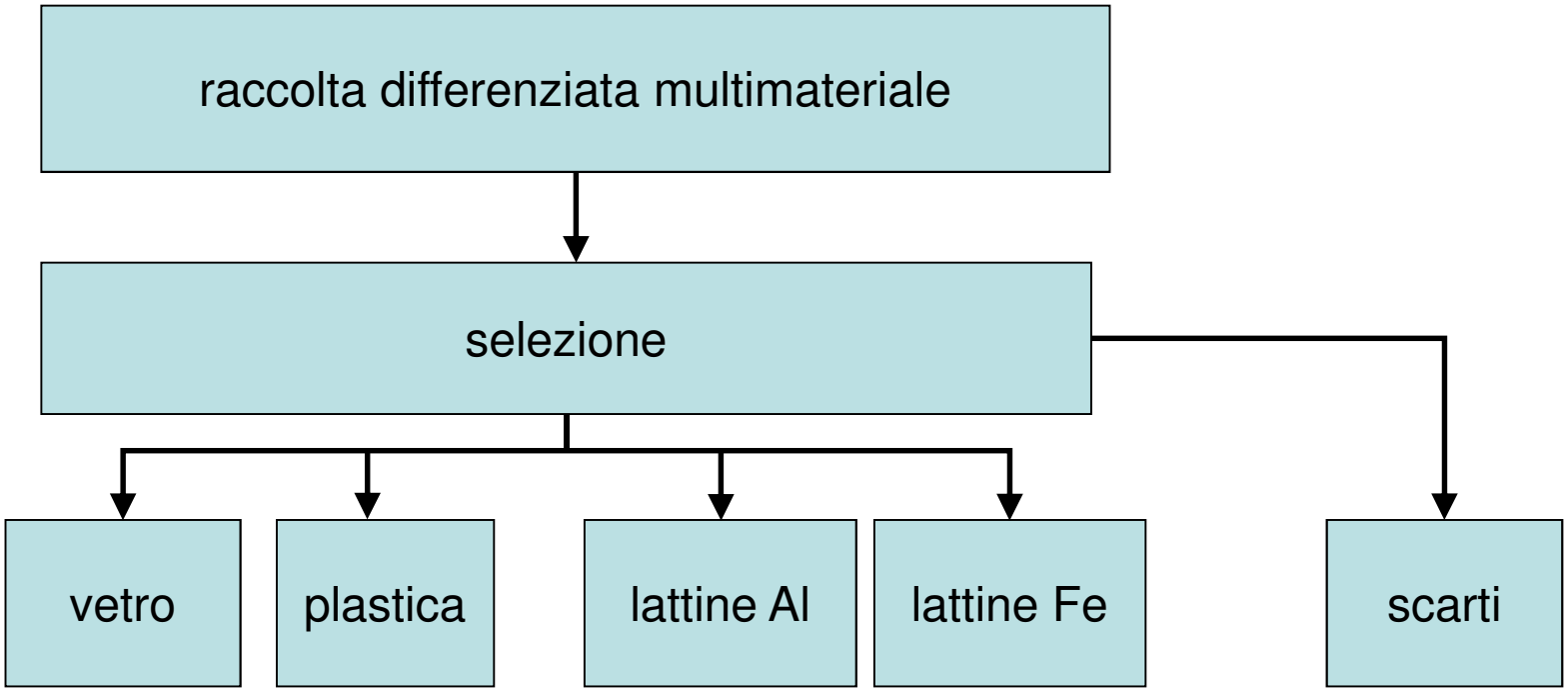
Quelle di I tipo hanno la funzione di separare miscele provenienti dalla **raccolta multimateriale** (ovvero vetro e lattine in Fe e Al, bottiglie in PET e PE, ovvero anche poliaccoppiati); in questo caso la piattaforma completa il sistema di raccolta differenziata. L'obbiettivo di queste piattaforme è di ottenere i materiali separati, e di purezza sufficiente da farli rientrare nel massimo livello dei requisiti tecnici richiesti dai Consorzi di filiera del CONAI. Di norma questi impianti sono anche automatizzati con parziale impiego di manodopera.

All'uscita si hanno i flussi separati di:

- materie plastiche miste;
- vetro di diversi colori;
- lattine in banda stagnata;
- lattine in ferro;
- rifiuti vari.

Prestazioni:	*da 1 a 7 t/h*
Impurezze nei materiali selezionati max:	*5%*
Rendimento di separazione della plastica:	*90%*
Rendimento di recupero:	*95%*

Piattaforme per il recupero dei materiali: I tipo



Piattaforme per il recupero dei materiali: II tipo

Quelle di II tipo **migliorano la qualità dei prodotti ottenuti dalla raccolta differenziata** con l'obbiettivo di ottenere un materiale già pronto per il riciclo o per il riutilizzo, secondo le norme dei D.M. 5/2/98.

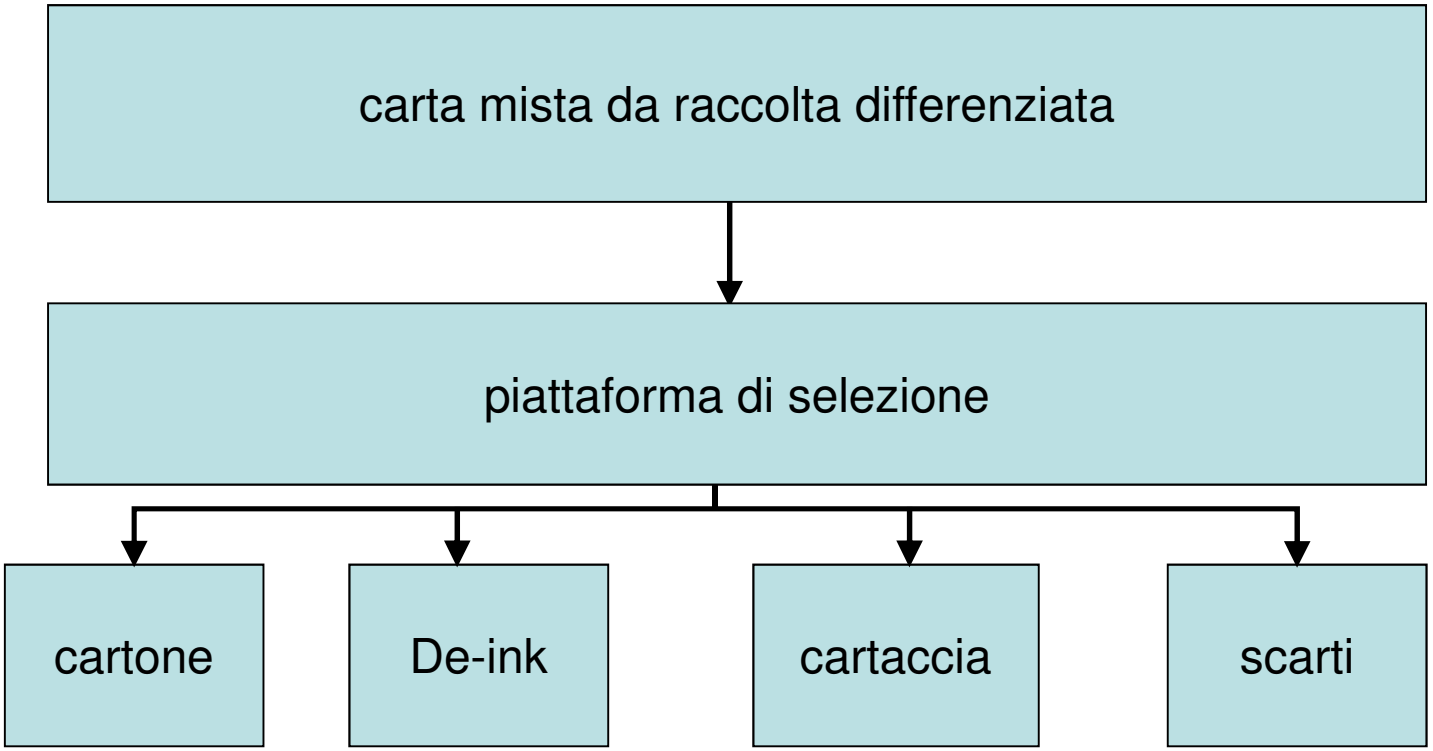
Esempi di questi procedimenti sono quelli che si effettuano:

- la selezione di differenti tipi di materiali cellulosici provenienti dalla raccolta della carta fino ad ottenere differenti partite di materiali classificati secondo le norme **UNI EN 643**.
- la selezione di differenti tipi di materiali plastici (separati per polimero o per colore) dalla plastica eterogenea raccolta;
- la separazione delle impurità dal rottame vetroso fino ad ottenere il *"vetro pronto al forno".*

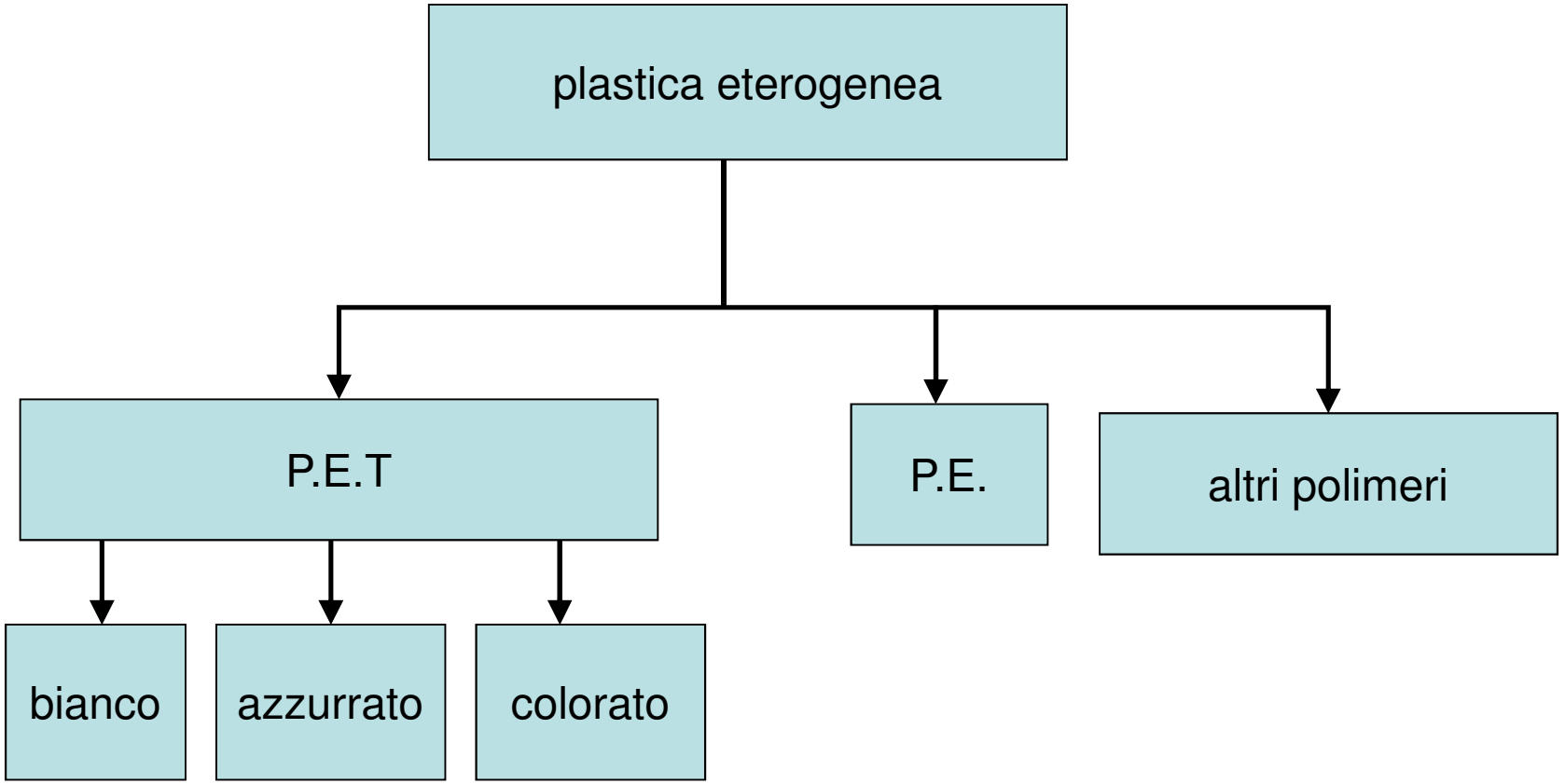
Specifiche contenute nel D.M. 5/2/98 per ottenere la qualità *"vetro pronto al forno":*

- Granulometria > 3 mm (sottovaglio 3 mm < 5%)
- Ceramica e porcellana < 0,01 %
- Pietre < 0,02 %
- Metalli magnetici < 0,002 %
- Metalli amagnetici < 0,01 %
- Materiali organici < 0,1 %
- Eventuale selezione per colore.

Piattaforme per il recupero dei materiali: Il tipo



Piattaforme per il recupero dei materiali: Il tipo



Sistemi di selezione: aspetti progettuali

La progettazione degli impianti di selezione deve essere finalizzata ad una destinazione certa di recupero o smaltimento per i flussi di prodotti e scarti in uscita.

Gli impianti di selezione, pur non presentando rischi ambientali rilevanti, necessitano di **accorgimenti progettuali** volti a:

- minimizzare le **emissioni olfattive**;
- minimizzare le **emissioni di polveri**;
- minimizzare la **produzione di effluenti liquidi**;
- minimizzare la **proliferazione di insetti e roditori**;
- mantenere la **massima salubrità** degli ambienti di lavoro.

Sistemi di selezione:
impianto tipo

Tutti gli impianti di selezione sono generalmente dotati di:

1. una zona di **scarico e accumulo** temporaneo in ingresso;
2. una zona di **trattamento**;
3. una zona di **accumulo dei prodotti** in uscita e di **carico dei prodotti** sui mezzi in uscita.

Sistemi di selezione:

ricezione e stoccaggi

La ricezione e tutte le aree di accumulo di matrici ad **alta putrescibilità** (RU indifferenziati o residui, frazioni di lavorazioni intermedie o finali ad elevata contaminazione da organico) è preferibile che siano:

- realizzate al chiuso;
- dotate di pavimento corazzato (pavimento in calcestruzzo) ed impermeabilizzato;
- dotate di opportuni sistemi di aspirazione e trattamento delle arie esauste;
- dotate di sistema di raccolta degli eventuali percolati.

Se invece si tratta di matrici a **bassa putrescibilità** è preferibile che siano:

- realizzate almeno sotto tettoia o all'aperto in cassoni chiusi;
- dotate di pavimentazione realizzata in asfalto o in calcestruzzo;
- dotate di sistemi di raccolta delle acque di lavaggio delle aree stesse.

N.B.: *Tutte le aree di accumulo, nelle quali sia prevista la presenza non episodica di operatori, devono essere realizzate in modo tale da essere* ***facilmente lavabili****.*

Tutte le aree di accumulo temporaneo (non a scopo biologico) di rifiuti ad elevata putrescibilità, nelle quali sia prevista la presenza non episodica di operatori, devono essere ***liberate e lavate con adeguata frequenza****.*

Sistemi di selezione:
movimentazioni

Qualora la movimentazione dei rifiuti sia eseguita in manuale da operatore su pala meccanica ragno o gru ponte, la **cabina di manovra** della macchina deve essere dotata di climatizzatore e sistema di filtrazione adeguato alle tipologie di rifiuti da movimentare.

In caso di movimentazione di rifiuti ad elevata putrescibilità con pala gommata o ragno, tutte le **aree di manovra** dovrebbero essere realizzate in calcestruzzo corazzato.

Sistemi di selezione:
linee di selezione meccanica

Tutte le **linee di selezione meccanica** dovrebbero essere realizzate:

- all'interno di capannone chiuso;
- sotto tettoia.

La realizzazione di linee completamente all'aperto è **sconsigliata** per i seguenti motivi:

- **difficoltà** di controllo e manutenzione in caso di pioggia;
- **difficoltà** di controllo delle emissioni odorose e delle polveri;
- **deterioramento** rapido delle macchine a causa degli agenti atmosferici.

Le linee di selezione realizzate sotto tettoia dovrebbero prevedere **accorgimenti** atti ad evitare la dispersione di polveri e/o odori e/o rifiuti.

A seconda dei casi e delle differenti tipologie dei rifiuti da trattare possono essere presi i seguenti **accorgimenti**:

- **carterizzazione** di macchine e nastri;
- **aspirazioni** localizzate su punti critici;
- sistemi che evitino la **dispersione aeraulica**.

La progettazione degli impianti di selezione meccanica deve prevedere e ridurre anche la fuoriuscita dei rifiuti dai nastri e dalle macchine di trattamento per semplificare le operazioni di pulizia degli ambienti; a tale scopo è possibile adottare i seguenti accorgimenti:

- nastri trasportatori sovradimensionati dal punto di vista volumetrico;
- pulitori sulle testate dei trasportatori e/o nastrini pulitori al di sotto dei trasportatori;
- carterizzazioni;
- cassonetti di raccolta del materiale di trascinamento, in corrispondenza delle testate posteriori o dei rulli di ritorno;
- progettazione delle strutture metalliche di supporto delle macchine tale da permettere il passaggio di macchine di pulizia dei pavimenti.

Sistemi di selezione:
gestione acque

Tutte le **acque di lavaggio** delle aree di accumulo di rifiuti e tutte le **acque di processo (percolati)** devono essere raccolte in un sistema fognario indipendente da quello delle acque di pioggia.

Le acque di lavaggio devono essere inviate a depurazione in loco, ovvero immesse in una fognatura che conduca ad un impianto di depurazione centralizzato adeguato a questo tipo di scarico ovvero stoccate in vasche di stoccaggio provvisorio, provvisti di bacino di contenimento a norma di legge, per il successivo invio a depurazione tramite autobotti.

Le acque meteoriche non utilizzabili nel processo debbono essere smaltite in acque superficiali previa eventuale separazione delle acque di prima pioggia e nel rispetto degli eventuali vincoli posti dall'autorità di bacino.

In ogni caso la progettazione deve mettere in atto tutti gli **accorgimenti per minimizzare l'uso dell'acqua**, in particolare verificare la possibilità tecnico-economica di recuperare e riciclare l'acqua di processo.

Sistemi di selezione:
gestione delle emissioni gassose

In presenza di trattamento di rifiuti ad **elevata putrescibilità**, tutta l'aria gestita dal sistema di aspirazione deve essere convogliata ad impianti di abbattimento delle emissioni odorose. E' necessario fare ricorso a sistemi di abbattimento che garantiscano all'uscita il valore massimo di 300 Unità Odorimetriche Internazionali. Questo valore può essere ottenuto con **filtri biologici** opportunamente dimensionati o in casi particolarmente importanti con **impianti di abbattimento termici autorigenerativi**.

In presenza di trattamento meccanico di **rifiuti essiccati e polverulenti** tutta l'aria proveniente dai sistemi di aspirazione, prima di essere immessa in atmosfera o inviata ai biofiltri, deve essere inviata alla filtrazione per l'abbattimento delle polveri. Di norma in questo caso si utilizzano **filtri a maniche** opportunamente dimensionati e di tipo adeguato.

Sistemi di selezione:
gestione dei rifiuti

Gli impianti di selezione possono produrre **scarti non utilizzabili** (né come materiali né come recupero energetico) che costituiscono un **rifiuto da smaltire**.

La produzione di rifiuti deve essere la minima possibile compatibilmente con la finalità dell'impianto ed in particolare con la qualità dei prodotti selezionati.

I rifiuti debbono essere caratterizzati e classificati secondo il codice CER ed inviati ad uno smaltimento adeguato.

Sistemi di selezione:
rumore

Le apparecchiature di selezione possono produrre rumori e vibrazioni derivanti:

- dai **ventilatori primari** e dai **raffinatori secondari**;
- dai **ventilatori** e dai **cicloni** che effettuano la separazione aeraulica;
- dal **ventilatore** che estrae l'aria dagli ambienti e la convoglia al sistema di depurazione;
- dai **nastri trasportatori**.

Sono pertanto prescritti limiti alla rumorosità delle macchine in esercizio **(80 dB**) per la tutela della salute dei lavoratori e limiti al rumore percepibile all'esterno sulla base della zonizzazione eseguita dall'autorità comunale.

Sistemi di selezione:
collaudi

I **collaudi**, oltre alle prescrizioni generali valide per tutti gli impianti, per gli impianti di selezione meccanica devono prevedere anche le **seguenti verifiche**:

- **rispetto** dei valori di progetto di tutti gli indici impiantistici;
- **possibilità pratica** di poter attuare una corretta manutenzione di tutte le macchine;
- **possibilità pratica** di poter attuare una corretta pulizia degli ambienti di trattamento.

Sistemi di selezione:
gestione e manutenzioni

E' opportuno che la gestione dell'impianto sia in possesso di certificazione di qualità relativa al processo e di certificazione ambientale (certificazione ISO 14.000, regolamento EMAS ecc.). In ogni caso è necessaria l'adozione di un **Sistema di Gestione Ambientale (EMS)** che deve contenere le seguenti componenti:

- **definizione** di una politica ambientale;
- **pianificazione** e fissazione di obbiettivi;
- **programma di gestione**;
- **programma di sorveglianza e controllo**;
- preparazione di un regolare **rapporto ambientale**;
- convalida attraverso una **certificazione** o una verifica **EMS esterna**;
- **procedure di dismissioni**;
- sviluppo di **tecnologie pulite**.

Sistemi di selezione:
gestione operativa

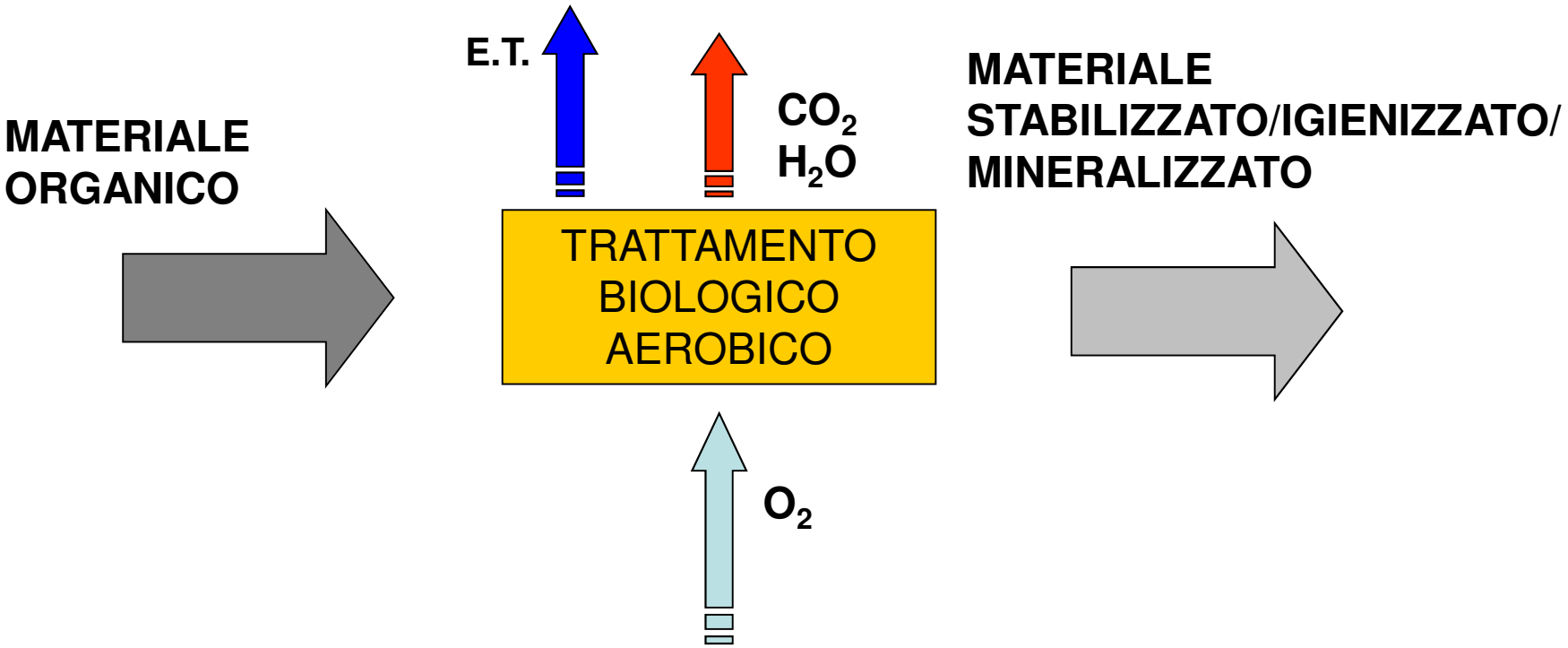
In particolare la gestione operativa degli impianti di selezione, oltre alle prescrizioni generali valide per tutti gli impianti, deve porre particolare attenzione anche alle **procedure** relative ai seguenti punti:

- **controllo** dei rifiuti in ingresso all'impianto;
- **allontanamento** di eventuali materiali non conformi;
- **sorveglianza**, anche remota, di quelle operazioni critiche per la natura stessa e la lavorazione (es.: triturazione);
- **procedure di controllo e registrazione**, sia cartacea che informatica, dei dati di processo fondamentali, compresi i consumi di risorse idriche e di energia;
- **controllo** delle caratteristiche dei materiali in uscita dall'impianto (materiali recuperati, CDR, scarti);
- **descrizione** di tutti i presidi ambientali e di sicurezza, compresi gli impianti antincendio.

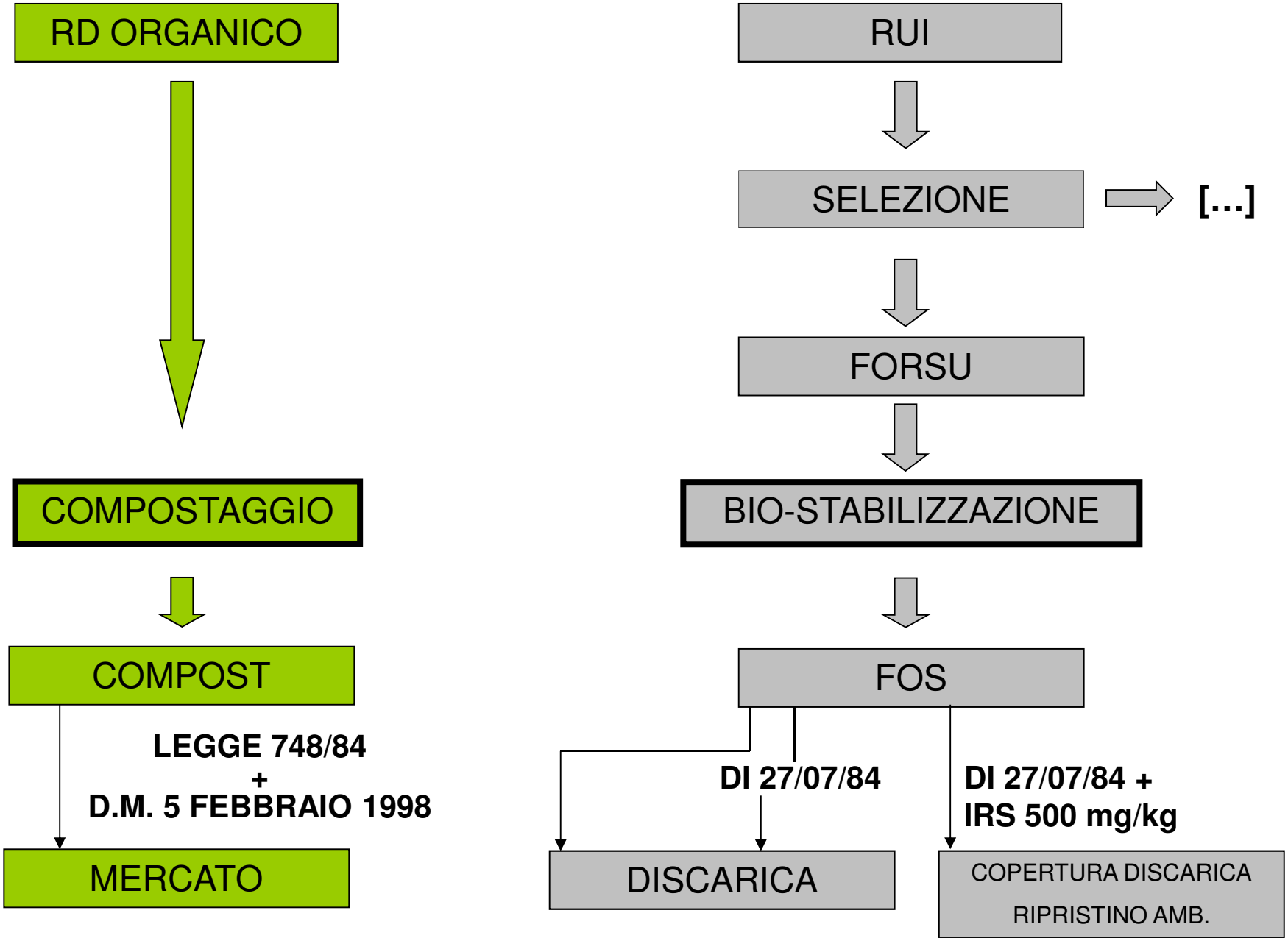
Inoltre nelle procedure operative di gestione e di manutenzione occorre indicare gli accorgimenti da prendere per ridurre al minimo il contatto diretto degli operatori ed i rifiuti, la loro permanenza in ambienti in cui sono presenti polveri e/o sostanze potenzialmente dannose per la salute, le operazioni di intervento manuale sulle macchine ed apparati tecnologici.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI PER RIFIUTI

I processi di trattamento biologico aerobico dei rifiuti consistono nella degradazione biologica della frazione organica del rifiuto da parte di microrganismi che si sviluppano e vivono in un ambiente in cui è presente ossigeno. Lo scopo del processo è la mineralizzazione delle componenti organiche maggiormente degradabili e l'igienizzazione.



TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI – UTILIZZI



TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

Compost di qualità

Possibilità di utilizzare compost in agricoltura

Il materiale ottenuto da processi di compostaggio viene analizzato per valutare la sua qualità e se è permesso il suo utilizzo in agricoltura.

La normativa italiana definisce diverse tipologie di compost in base alle caratteristiche chimiche e biologiche.

L'uso di compost come fertilizzante è regolato dalla "**Legge 748/84**", che riguarda i fertilizzanti in genere, e definisce le caratteristiche degli ammendanti agricoli nell'allegato 1.C, che è attualmente in vigore nella forma modificata dal "**D.M. 27 marzo 1998**".

Legge 748/84 – Art. 2 – Definizioni

Per ammendante e correttivo si intende qualsiasi sostanza, naturale o sintetica, minerale od organica, capace di modificare e migliorare le proprietà e le caratteristiche chimiche, fisiche, biologiche e meccaniche di un terreno.

Se le caratteristiche del compost rispettano i limiti stabiliti da questa norma può essere utilizzato in agricoltura senza nessuna limitazione.
In questo caso il compost è detto "**compost di alta qualità**".

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI
Compost di qualità

LIMITI ALLEGATO 1.C LEGGE 748/84 (come modificati dal decreto 27 marzo 1998)
AMMENDANTE COMPOSTATO VERDE

Prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato di **rifiuti organici** costituiti da **scarti della manutenzione del verde ornamentale**, **residui delle colture, altri rifiuti di origine vegetale** con esclusione di alghe e altre piante marine.

Parametro	*D. 27.03.98*
Azoto organico sul secco	> 80% dell'azoto
Umidità	< 50% s.t.q.
Carbonio organico	> 30% s.s.
Acidi umici e fulvici	> 2,5% s.s.
C/N	< 50
pH	6-8,5
Rame totale	150 p.p.m s.s.
Zinco totale	500 p.p.m s.s.
Piombo totale	140 p.p.m s.s.
Cadmio totale	1,5 p.p.m s.s.
Nichel totale	50 p.p.m. s.s.
Mercurio totale	1,5 p.p.m s.s.
Cromo esavalente	0,5 p.p.m s.s.
Materiale plastico (Ø ≤ 3,33 mm)	≤ 0,45 % s.s.
Materiale plastico (3,33 mm < Ø ≤ 10	≤ 0,05 % s.s.
Altri materiali inerti (Ø ≤ 3,33 mm)	≤ 0,9 % s.s.
Altri materiali inerti (3,33 mm <Ø≤ 10 mm)	≤ 0,1 % s.s.
Materiali plastici ed inerti (Ø > 10 mm)	Assenti
Salmonelle	Assenti in 25 g t.q.,
Enterobactariaceae totali	≤ 1×10^2 UFC per
Streptococchi fecali	Max $1,0 \times 10^3$
Nematodi	Assenti in 50 g t.q.
Trematodi	Assenti in 50 g t.q.
Cestodi	Assenti in 50 g t.q.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI
Compost di qualità

LIMITI ALLEGATO 1.C LEGGE 748/84 (come modificati dal decreto 27 marzo 1998)
AMMENDANTE COMPOSTATO MISTO

Prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato di **rifiuti organici** che possono essere costituiti dalla **frazione organica degli RSU proveniente da raccolta differenziata**, da rifiuti di origine animale compresi liquami zootecnici, da **rifiuti di attività agroindustriale e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattati, da reflui e fanghi**, nonché dalle matrici previste per l'Ammendante Compostato Verde.

Parametro	*D. 27.03.98*
Azoto organico sul secco	> 80% dell'azoto
Umidità	< 50% s.t.q.
Carbonio organico	> 25% s.s.
Acidi umici e fulvici	> 7% s.s.
C/N	< 25
pH	6-8,5
Rame totale	150 p.p.m s.s.
Zinco totale	500 p.p.m s.s.
Piombo totale	140 p.p.m s.s.
Cadmio totale	1,5 p.p.m s.s.
Nichel totale	50 p.p.m. s.s.
Mercurio totale	1,5 p.p.m s.s.
Cromo esavalente	0,5 p.p.m s.s.
Materiale plastico (Ø ≤ 3,33 mm)	≤ 0,45 % s.s.
Materiale plastico (3,33 mm < Ø ≤ 10	≤ 0,05 % s.s.
Altri materiali inerti (Ø ≤ 3,33 mm)	≤ 0,9 % s.s.
Altri materiali inerti (3,33 mm <Ø≤ 10	≤ 0,1 % s.s.
Materiali plastici ed inerti (Ø > 10 mm)	Assenti
Salmonelle	Assenti in 25 g t.q.,
Enterobactariaceae totali	≤ 1×10^2 UFC per
Streptococchi fecali	Max $1,0 \times 10^3$
Nematodi	Assenti in 50 g t.q.
Trematodi	Assenti in 50 g t.q.
Cestodi	Assenti in 50 g t.q.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI
Rifiuti compostabili – DM 5 Febbraio 1998

Tipologia: rifiuti compostabili per la produzione di compost di qualità costituiti da:
a)frazione organica dei rifiuti solidi urbani raccolta separatamente
b)Rifiuti vegetali di coltivazioni agricole
c)segatura, trucioli, frammenti di legno, di sughero
d)Rifiuti vegetali derivanti da attività agro-industriali
[…]
m)fanghi di depurazione, fanghi di depurazione delle industrie alimentari 16.1.1

Provenienza: I rifiuti devono derivare rispettivamente da:
a)frazione umida derivante da raccolta differenziata di RSU;
b)coltivazione e raccolta dei prodotti agricoli;
[…]

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI
Rifiuti compostabili – DM 5 Febbraio 1998

Attività di recupero: **compostaggio** attraverso un processo di trasformazione biologica aerobica delle matrici che evolve attraverso uno stadio termofilo e porta alla stabilizzazione ed umificazione della sostanza organica.
Il processo deve essere condotto in modo da assicurare:
- il controllo dei rapporti di miscelazione e delle caratteristiche chimico fisiche delle matrici organiche di partenza;
- il controllo della temperatura di processo;
- un apporto di ossigeno sufficiente a mantenere le condizioni aerobiche della massa.

La durata del processo **non deve essere inferiore a 90 giorni** comprendenti una fase di bio-ossidazione accelerata durante la quale viene assicurato un apporto di ossigeno alla massa mediante rivoltamento e/o aerazione, seguito da una fase di maturazione di cumulo. La temperatura deve essere mantenuta per **almeno tre giorni oltre i 55 °C**.

Caratteristiche delle materie prime e/o dei prodotti ottenuti: **Compost con le caratteristiche indicate negli allegati alla legge 19 ottobre 1984, n. 748**.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI
Impiego della FOS – Regione Toscana

Per la frazione organica stabilizzata si fissano, in attesa della normativa di riferimento, gli stessi valori-limite previsti dalla Delib. Com. Intermin. 27/7/84 per i parametri di tutela ambientale del compost (tabella 3.2. DCI 27/7/84).
In considerazione delle tipologie di impiego individuate per la FOS, si ritengono invece derogabili, in quanto non pertinenti, i valori limiti per le caratteristiche agronomiche stabiliti nella tab. 3.1. della Del. Com. Interm. 27/7/84.
La frazione organica stabilizzata può essere impiegata nella ricopertura giornaliera di discariche in sostituzione totale o parziale di inerti e terre.
La frazione organica stabilizzata può essere impiegata nella ricopertura e nel ripristino ambientale finale delle discariche di rifiuti dotate di sistemi di protezione, in totale o parziale sostituzione dello strato di copertura superficiale in terra di coltivo, come:
- substrato organico miscelato con inerti nella copertura finale di discariche controllate dotate di impermeabilizzazione di fondo;
-substrato organico miscelato con inerti nella copertura finale di discariche di inerti in associazione a dispositivi infra-copertura di captazione e controllo delle acque di infiltrazione;
-substrato organico miscelato con inerti nel recupero ambientale di volumi confinati in seguito ad operazioni di bonifica ambientale (discariche incontrollate bonificate con capping superficiale o barriere impermeabili verticali, munite di sistema di drenaggio e captazione delle acque di infiltrazione).

Le modalità di impiego in tali casi sono disciplinate nell'atto di approvazione del progetto e/o di autorizzazione relativo all'intervento cui è destinata la FOS con apposita norma tecnica emanata con delibera di Giunta Regionale.
La frazione organica stabilizzata e altri prodotti equivalenti, con opportuna sperimentazione e previa approvazione di progetto da parte della Provincia, può altresì essere impiegata per interventi di ripristino ambientale di aree degradate.

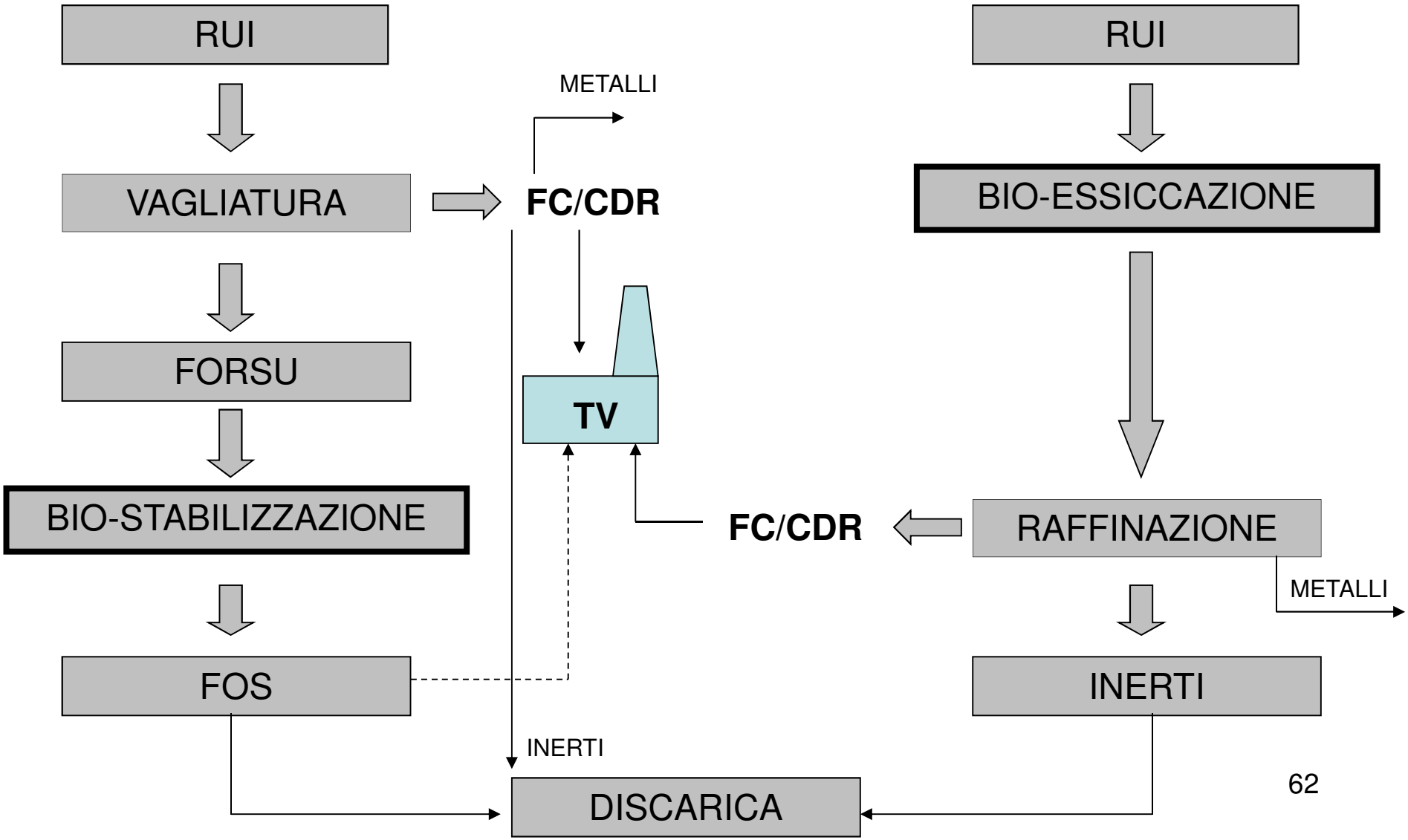
Parametri		DPR 915/82 (DI 27/07/84)
pH		6 - 8,5
umidità	[%]	< 45
Azoto totale	[% SS]	> 1
Azoto Organico	[% SS]	
Azoto Organico	[% NTK]	
Carbonio Org.	[% SS]	
Sostanza Org.	[% SS]	> 40
C/N		< 30
Sostanza org. Umificata	[% SS]	> 20
Carbonio umico (a. umici e a. fulvici)	[% SS]	
Fosforo totale	[% SS]	> 0,5
Potassio totale	[% SS]	> 0,4
Cond. Elet. Spec.	[mS/cm]	
Cadmio (Cd)	[mg/kg SS]	< 10
Mercurio (Hg)	[mg/kg SS]	< 10
Nichel (Ni)	[mg/kg SS]	< 200
Piombo (Pb)	[mg/kg SS]	< 500
Rame (Cu)	[mg/kg SS]	< 600
Zinco (Zn)	[mg/kg SS]	< 2500
Cromo (Cr III)	[mg/kg SS]	< 500
Cromo (Cr VI)	[mg/kg SS]	< 10
Arsenico (As)	[mg/kg SS]	< 10
Salmonelle	[N/25g TQ]	assenti
E.coli	[MPN/g]	
Enterobatteri	[MPN/g]	
Nematodi	[N/50g TQ]	
Trematodi	[N/50g TQ]	
Cestodi	[N/50g TQ]	
Semi infestanti	[N/25g TQ]	assenti
Materiali inerti	[% SS]	< 3
Mat. Plast. (d<3,33 mm)	[% SS]	< 1
Mat. Plast. (3,33>d<10 mm)	[% SS]	
Vetri (vaglio a 3 mm)	[% SS]	< 3
Vetri (quantità)	[% SS]	< 3
Materiali ferrosi	[% SS]	< 0,5

Con l'analisi del contesto territoriale ed ambientale dovranno essere verificati il rispetto della Tab. 3.3 D.C.I. del 27/07/84, nonché la sussistenza di un adeguato indice respirometrico della massa.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI → MBT

Due approcci:

“FLUSSO SEPARATO” o “FLUSSO UNICO”



TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI → MBT

Lo scopo è la produzione di CDR o FC:
una frazione ad elevato potere calorifico separata dalla frazione fine e dalla frazione organica putrescibile, che eventualmente dopo ulteriori trattamenti può essere CDR in specifica (DM 5 Febbraio 1998)

"FLUSSO SEPARATO"
→ il materiale fine (< 20 mm) costituito da frazione fine e frazione organica putrescibile viene preliminarmente separato con una trattamento meccanico di vagliatura per ottenere un FC che sottoposta a ulteriori trattamenti può diventare CDR
→ la frazione organica viene sottoposta a stabilizzazione biologica → riduzione in peso del 40-50% → DESTINAZIONE?

"FLUSSO UNICO"
→ tutto il materiale viene sottoposto a bio-essiccazione (evaporazione dell'umidità del rifiuto sfruttando il calore liberato dai processi di degradazioni biologica aerobica)

$$C_{organico} + O_2 = CO_2 + \text{calore} \rightarrow \text{evaporazione } H_2O$$

- riduzione in peso 20-30%
- temperature 50-55°C → igienizzazione
- durata 7-15 giorni
- consumi elettrici (30-35 kWh/t)

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

Si parla di *compostaggio* quando la matrice organica sottoposta al trattamento di degradazione biologica aerobica è costituita da frazioni organiche selezionate alla fonte (raccolta differenziata). In tal caso il processo permette l'ottenimento finale di un prodotto – il *compost* – che può essere utilizzato in agricoltura come ammendante del terreno.

Nel caso in cui si sottoponga al processo di biodegradazione aerobica una frazione organica derivante da selezione meccanica del rifiuto ottenuto dalla raccolta indifferenziata (quindi tale frazione organica potrà in generale contenere anche altri materiali in percentuali diverse in base al processo di selezione a cui è stato sottoposto l'indifferenziato) non è possibile ottenere un prodotto adatto all'uso agricolo. In questo caso lo scopo del processo è la *stabilizzazione* della frazione organica (riduzione della fermentescibilità) insieme alla riduzione dei patogeni (tossici sia per le piante sia per l'uomo: igienizzazione) e dell'umidità del prodotto. Non si parla più di compostaggio, ma di *Stabilizzazione Biologica Aerobica (SBA)* (oppure biostabilizzazione oppure *ossidazione biologica*). Il prodotto finale che si ottiene in questo caso viene chiamato Frazione Organica Stabilizzata (FOS) ed ha il vantaggio di essere più facilmente gestibile rispetto al rifiuto organico di partenza.

In entrambi i casi il processo di stabilizzazione biologica aerobica che si instaura si basa sugli stessi meccanismi biologici e biochimici, dunque la trattazione seguente sarà unica e valida indipendente dalla provenienza della frazione organica.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

La Frazione Organica Stabilizzata (FOS) ed ha il vantaggio di essere più facilmente gestibile rispetto al rifiuto organico di partenza essendo igienizzato, più o meno fortemente stabilizzato dal punto di vista biochimico, avendo perso umidità e putrescibilità, oltre ad aver conseguito consistenti riduzioni volumetriche e ponderali (riduzione in peso valutabile nell'ordine del 40-50% del materiale trattato).

La FOS può essere impiegata per operazioni di "capping" (copertura periodica) dei materiali collocati in discarica, in quanto una volta stabilizzato il materiale riduce notevolmente la capacità di produzione di biogas e percolati.

Altro potenziale impiego è nelle operazioni di recupero paesaggistico di siti degradati (cave e discariche esaurite), nelle bonifiche e ripristini di siti contaminati da smaltimenti abusivi o comunque degradati.

In entrambi i casi – Stabilizzazione Biologica Aerobica e Compostaggio - il processo di biologico aerobico che si instaura si basa sugli stessi meccanismi biologici e biochimici, dunque la trattazione seguente sarà unica e valida indipendente dalla provenienza della frazione organica.

La Stabilizzazione Biologica Aerobica (compostaggio) può essere definita come:

"**un processo biologico di tipo aerobico** volto a conseguire la **mineralizzazione delle componenti organiche maggiormente degradabili (stabilizzazione)** e la **igienizzazione per pastorizzazione della massa**"

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

La stabilizzazione, ottenuta mediante la degradazione metabolica delle componenti organiche più aggredibili, con produzione finale di acqua e anidride carbonica e loro allontanamento dal sistema biochimico, è intesa a garantire la compatibilità tra i prodotti finali e le ipotesi di impiego agronomico o la loro collocazione in ambito confinato (discarica). Un prodotto stabile infatti:

- nel suolo agricolo non produce più metaboliti (intermedi di degradazione) ad effetto fitotossico, ne' consuma ossigeno (necessario per la trasformazione delle componenti "fresche") sottraendolo alle piante;

- in discarica non comporta massicci processi di degradazione anaerobica a carico delle componenti organiche facilmente biodegradabili di cui la biomassa "fresca" è invece ricca.

La igienizzazione consente di debellare i fitopatogeni presenti nei residui vegetali, impedendo che il compost ne diventi vettore, nonché i patogeni umani eventualmente presenti nei materiali di scarto (es. fanghi civili); va notato che la igienizzazione avviene sicuramente, oltre che per pastorizzazione termica, anche per perdita progressiva delle caratteristiche biochimiche "ospitali" nei confronti della microflora patogena da parte dei vari materiali di scarto.

Il processo è essenzialmente biologico e biochimico, in quanto tali processi si sono dimostrati in grado di garantire la stabilizzazione e dunque la compatibilità dell'uso.

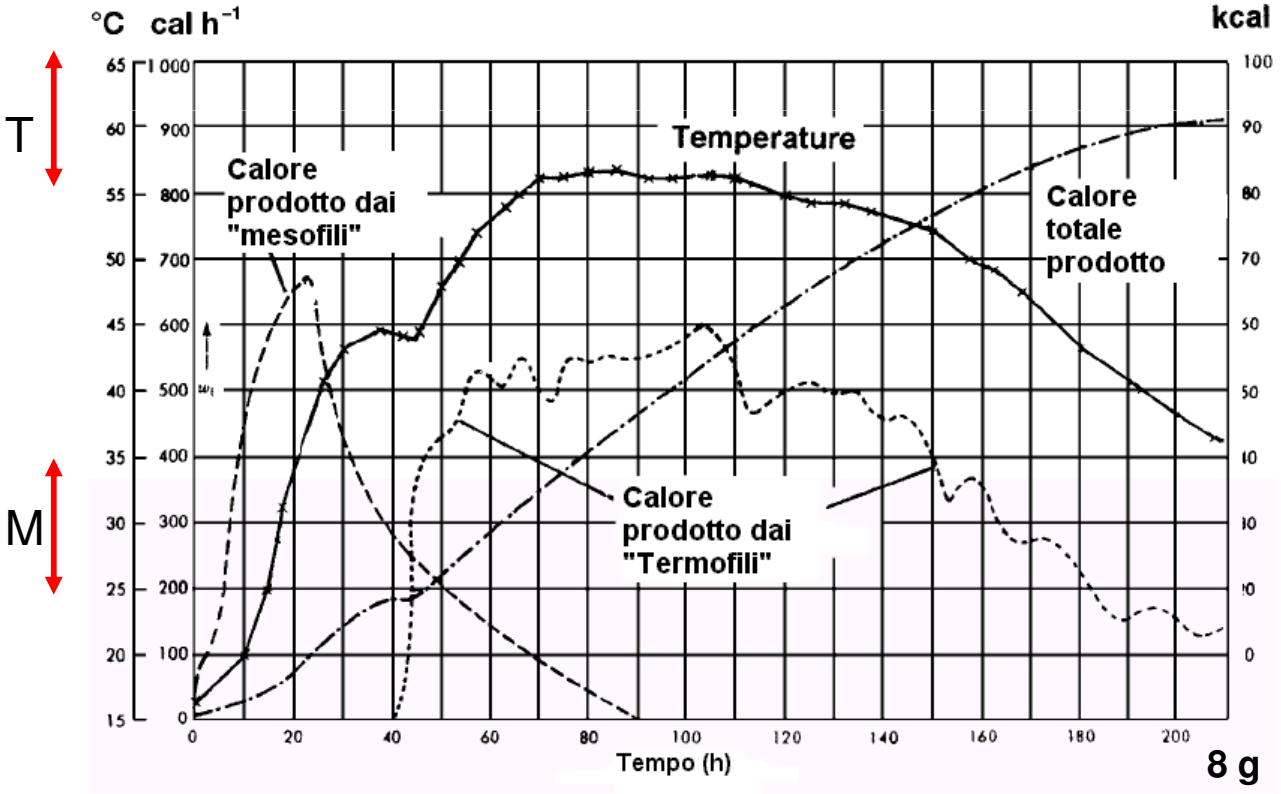
Processi di inattivazione termica (essiccamento) o chimica (calcitazione) non sono in grado di garantire tali compatibilità sul medio e lungo termine (Inertizzazione temporanea per disattivazione della microflora e non per completamento dei processi biochimici a carico della sostanza organica)

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

Il processo di stabilizzazione biologica aerobica può essere semplificato:

frazione organica + O_2 → crescita cellulare + energia + sostanze minerali + emissioni

Il processo di stabilizzazione biologica aerobica evolve attraverso fasi diverse che sono determinate dalla variazione della temperatura all'interno del sistema, permettendo l'attività successiva di diverse popolazioni di batteri che attuano la degradazione dei substrati organici, durante la fase attiva del processo.



Il metabolismo dei microrganismi che degradano il substrato organico (utilizzandolo come proprio nutrimento) libera energia termica.

Se il calore ha impedimenti nell'essere dissipato all'esterno da qualche tipo di isolamento la temperatura del sistema aumenta.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

I FASE

L'iniziale decomposizione del substrato è dovuta all'intervento di specie microbiche mesofile (25-35°C) che utilizzano rapidamente i composti solubili e facilmente degradabili. Il calore prodotto dal metabolismo di questi microrganismi rimane intrappolato nella matrice in trasformazione a causa della scarsa conducibilità di quest'ultima. A seguito del progressivo accumulo di calore, la temperatura del substrato comincia a salire, superando ben presto la soglia della termofilia.
Come la temperatura si porta sopra i 40 °C, i microrganismi mesofili divengono meno competitivi e sono perciò progressivamente sostituiti da specie termofile.

II FASE

Dopo un piccolo periodo di ritardo si ha l'inizio della crescita di una popolazione termofila di microrganismi. Il range di temperatura ottimale in cui si sviluppano questi microrganismi è tra i 55 e 65°C.
Durante questo stadio, le alte temperature accelerano la degradazione di proteine, grassi e carboidrati complessi quali cellulosa ed emicellulosa, che rappresentano due tra i più importanti polimeri strutturali delle piante.
Raggiunta o superata la soglia dei 55° C, un gran numero di microrganismi, ivi comprese le specie patogene per l'uomo e per le piante, è disattivato.
Le temperature al di sopra dei 65°C uccidono anche la maggior parte dei microrganismi termofili, riducendo così il tasso di decomposizione del substrato.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

III FASE

Si instaura a questo punto una fase in cui il calore prodotto dai microrganismi si equilibra con quello dissipato verso l'esterno, quindi la temperatura si mantiene per lo più costante. La popolazione all'interno del sistema rimane costante ed è caratterizzata ancora da batteri termofili.

IV FASE

Man mano che la disponibilità dei composti ricchi di energia comincia ad esaurirsi, la temperatura della matrice in trasformazione gradualmente decresce, consentendo alle popolazioni microbiche mesofile, responsabili dei processi di umificazione, di colonizzare il substrato per quella che viene definita la fase di maturazione mesofila.

Da un punto di vista gestionale, l'intero processo di stabilizzazione biologica aerobica viene però, di solito, suddiviso in due archi temporali distinti:

- il periodo di trasformazione ATTIVA (active composting), comprendente, sostanzialmente la fase mesofila (1) e la fase termofila di stabilizzazione (2-3)
- il periodo di FINISSAGGIO (curing phase), corrispondente alla fase di raffreddamento e di maturazione mesofila (4).

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

Fattori che influenzano il processo

Una serie di fattori fisico-chimici e le specifiche caratteristiche del substrato condizionano l'andamento delle reazioni biologiche che realizzano la stabilizzazione biologica aerobica.

Dal grado più o meno spinto con il quale vengono governati questi fattori dipende la corretta evoluzione verso la definitiva stabilizzazione del substrato sottoposto a trattamento, sia in termini di durata del processo che di qualità del prodotto finale.

I fattori che vanno presi in considerazione per una rigorosa gestione del processo sono:
- la concentrazione di ossigeno e l'aerazione
- la temperatura
- l'umidità
- le proprietà fisico-meccaniche del substrato (porosità, struttura, tessitura e dimensione delle particelle o pezzatura della matrice in trasformazione)
- la concentrazione ed il rapporto dei nutrienti nel substrato organico (ad esempio il rapporto carbonio/azoto)
- il pH, anche se in misura più modesta

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

La concentrazione di ossigeno e l'aerazione.

I microrganismi che compiono la degradazione biologica del substrato consumano notevoli quantità di ossigeno.
Durante i primi giorni del processo, le componenti più facilmente degradabili del substrato organico sono rapidamente metabolizzate. Il bisogno di ossigeno e, di conseguenza, la produzione di calore sono perciò decisamente maggiori nei primi stadi della biostabilizzazione, mentre decrescono con l'evolversi del processo.

Nel caso in cui l'apporto di ossigeno sia limitato, la stabilizzazione rallenta.
Anche se una concentrazione minima di ossigeno del 5% nell'atmosfera circolante tra le particelle della biomassa può consentire la stabilizzazione biologica aerobica, per la gestione ottimale del processo, dovrebbero essere garantite, nella matrice, **concentrazioni di O2 non inferiori al 10%**.

Senza una sufficiente ossigenazione la microflora microbica anaerobica prende il sopravvento, portando all'accumulo di **composti ridotti** (ad esempio acidi grassi volatili, idrogeno solforato, mercaptani, ecc.), caratterizzati da odore decisamente aggressivo e da elevata fitotossicità.

Il mantenimento di un ambiente ossidativo all'interno della matrice organica in corso di stabilizzazione è quindi importante anche per impedire il formarsi di emissioni maleodoranti associate, appunto, con le reazioni di decomposizione anaerobica.

L'aerazione del materiale in biostabilizzazione, per garantire l'apporto di ossigeno necessario al processo, rende inoltre possibili la **dissipazione del calore**, **l'eliminazione del vapor d'acqua** e **l'allontanamento di altri gas** intrappolati nell'atmosfera interna del substrato. **In effetti, il tasso di aerazione richiesto per la rimozione del calore può essere anche dieci volte maggiore di quello necessario per l'apporto di ossigeno. Di conseguenza, è la temperatura che normalmente determina l'estensione e la frequenza degli interventi di aerazione**.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

La temperatura.

Di solito, nel caso di matrici putrescibili, la fase di stabilizzazione attiva si svolge a temperature comprese tra **45 e 70 °C**.

Le temperature termofile sono importanti per la distruzione degli eventuali organismi patogeni associati alla biomassa substrato di partenza. Il limite fissato per la disattivazione dei **patogeni umani è 55 °C**. Questa temperatura è in grado di abbattere anche la maggior parte degli **organismi fitopatogeni**, mentre, per **i semi delle erbe infestanti**, sono necessarie temperature non inferiori a **60 °C**.

Il metabolismo microbico durante la stabilizzazione biologica aerobica rilascia una grande quantità di energia sotto forma di calore. Le proprietà auto-coibentanti dei materiali avviati a biostabilizzazione favoriscono l'accumulo di calore, il quale, a sua volta, provoca l'innalzamento della temperatura.

Allo stesso tempo, la biomassa in trasformazione perde continuamente calore grazie alla evaporazione dell'acqua ed ai movimenti d'aria che rimuovono il vapore acqueo (ed i gas caldi) dal substrato.

Nei casi di scarsa dissipazione dell'eccesso di calore generato dalle reazioni ossidative esotermiche, la temperatura può raggiungere e oltrepassare i 70 °C. A questo punto la quasi totalità dei microrganismi soccombe o diventa dormiente ed il processo si arresta.
Ad evitare questa situazione, giova un puntuale **monitoraggio della temperatura** e l'attivazione, quando questa si avvicina ai 60 °C, di sistemi, come il rivoltamento o la ventilazione forzata, che accelerino la rimozione del calore.
Nel caso in cui si verifichi una pressoché totale autosterilizzazione della matrice in biostabilizzazione, il rapido recupero del processo può ottenersi miscelando al substrato materiale microbiologicamente attivo dello stesso tipo, proveniente da altri cumuli o reattori.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

L' umidità.

L'umidità è necessaria affinché i processi metabolici microbici possano attuarsi.
La fase acquosa è il mezzo nel quale avvengono le reazioni chimiche, la diffusione ed il trasporto dei nutrienti, i movimenti e la migrazione dei microrganismi.
In teoria, l'attività biologica trova le condizioni ottimali in un ambiente saturo, mentre **cessa completamente al di sotto del 15% di umidità**.
In pratica, tuttavia, i materiali avviati alla biostabilizzazione dovrebbero avere un contenuto di **umidità compreso in un intervallo tra il 55% ed il 65%**.
Numerose esperienze hanno dimostrato che, approssimandosi l'umidità della matrice organica al 40%, il processo di biostabilizzazione comincia ad essere inibito. Al di sotto del 30-35%, l'attività microbica procede a stento ovvero molto lentamente. In condizioni di umidità > 65%, invece, l'acqua espelle l'aria dalla maggior parte degli spazi interstiziali tra le particelle della matrice organica. Ciò ostacola la diffusione dell'ossigeno e può favorire l'insorgenza di condizioni microaerofile o anossiche.
Poiché **l'umidità del substrato diminuisce col procedere della stabilizzazione (evaporazione dell'acqua)**, il contenuto in acqua del materiale di partenza dovrebbe essere ben più alto del 55%. Matrici organiche troppo secche per essere avviate direttamente alla stabilizzazione biologica aerobica dovranno essere bagnate con acqua o potranno essere mescolate con substrati più umidi, in modo da raggiungere, nelle miscele di partenza, contenuti di acqua compresi tra il 60 ed il 63%.
Materiali molto porosi possono essere avviati alla stabilizzazione biologica aerobica anche in eccesso di umidità, contrariamente ai substrati con struttura compatta e particelle di piccole dimensioni.

Per tutto il corso del processo, compresa la fase di finissaggio, l'umidità deve mantenersi al di sopra dei limiti compatibili con l'evoluzione delle reazioni biologiche. **L'eccessiva disidratazione del substrato nel corso del processo può portare, erroneamente, ad interpretare il declino dell'attività microbica come segno di avvenuta stabilizzazione**. Il materiale così ottenuto sarà invece stabilizzato solo dal punto di vista fisico (disidratato). Se nuovamente umidificato, questo, in realtà, riprenderà ad evolversi biologicamente, con grave danno per le colture cui, eventualmente, sia stato somministrato.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

La concentrazione e il rapporto dei nutrienti.

Carbonio (C), azoto (N), fosforo (P) e potassio (K) sono gli elementi nutritivi principali richiesti dai microrganismi coinvolti nel processo di stabilizzazione biologica aerobica.
Azoto, fosforo e potassio sono inoltre i principali nutrienti delle piante e, per questo, la loro concentrazione influenza anche il valore agronomico del compost.

La maggior parte delle matrici organiche destinabili alla stabilizzazione biologica aerobica, inclusi i residui delle colture e gli scarti verdi dei mercati orto-frutticoli, contengono in quantità notevoli i principali nutrienti. È però soprattutto la quantità di carbonio e di azoto del substrato che ne può influenzare la stabilizzazione mediante il processo biologico aerobico.
In generale, **i microrganismi utilizzano, per le reazioni energetiche e la crescita, una quantità di carbonio circa venti volte superiore a quella di azoto**. Ne consegue che è importante la disponibilità di C ed N in appropriate proporzioni.
La quantità di carbonio riferita a quella di azoto si indica comunemente come rapporto C/N. Le matrici organiche da avviare a biostabilizzazione dovrebbero avere un rapporto C/N compreso tra 20:1 e 30:1 per garantire un andamento ottimale del processo. In taluni casi, tuttavia, risultati accettabili possono ottenersi con materiali di partenza aventi rapporto C/N fino a 40:1.
Con rapporti C/N inferiori a 20:1, il carbonio disponibile è completamente utilizzato senza che, di contro, sia stato stabilizzato tutto l'azoto presente. L'eccesso di azoto può allora essere perduto in atmosfera sotto forma di ammoniaca, causando fastidiose emissioni maleodoranti, o di ossido nitroso.
D'altra parte, substrati di partenza con rapporto C/N superiore a 40:1 richiedono tempi di biostabilizzazione lunghi, dovuti alla più lenta crescita microbica in presenza di matrice carboniosa in eccesso.
Sebbene il rapporto C/N rappresenti un'utile guida per la preparazione delle miscele di residui organici da avviare a biostabilizzazione, anche il grado di suscettibilità dei composti carboniosi all'attacco microbico deve essere tenuto in debito conto. Se il carbonio del substrato è in forma scarsamente degradabile (cellulosa), il processo di biostabilizzazione risulta necessariamente rallentato.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

Le proprietà fisico-meccaniche del substrato.

La **porosità**, la **struttura** e la **tessitura** sono correlate con le proprietà fisiche dei materiali quali la **pezzatura**, la **forma** e la **resistenza meccanica**, e condizionano il processo di biostabilizzazione attraverso l'influenza esercitata sull'aerazione.

Queste proprietà possono essere **corrette** per mezzo di operazioni di triturazione e sminuzzamento dei substrati di partenza o mediante la miscelazione di questi con matrici definite *agenti di supporto (bulking agent*s).

La **porosità** è una misura degli spazi vuoti nel substrato in biostabilizzazione e determina la resistenza alla circolazione dell'aria. Essa dipende dalla dimensione delle particelle, dalla distribuzione granulometrica dei materiali e dalla continuità degli interstizi tra le particelle.

La **struttura** indica la rigidità delle particelle, vale a dire la **resistenza delle stesse a collassare e compattarsi** e, pertanto, un buon grado di struttura previene la perdita di porosità del substrato umido, sistemato in quantità critica (in cumulo o in reattore) per il processo.

La **tessitura** è la caratteristica che descrive l'area superficiale del substrato disponibile per l'attività microbica aerobica. La decomposizione procede dalla superficie delle particelle del substrato, dato che l'ossigeno diffonde facilmente attraverso gli spazi vuoti delimitati dalle particelle, ma molto più lentamente attraverso la fase liquida o i materiali solidi. Così i microrganismi aerobi si concentrano nel sottile strato acquoso che contorna le particelle del substrato, utilizzando l'ossigeno all'interfaccia tra la fase liquida e la fase gassosa degli interstizi. **Poiché l'estensione dell'area superficiale aumenta con la riduzione della pezzatura, il tasso di decomposizione aerobica si innalza in una matrice organica quanto più piccole sono le dimensioni delle particelle**. Particelle troppo piccole però rischiano di compromettere la porosità ed è quindi necessario trovare una situazione di compromesso.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

Il pH.

La stabilizzazione biologica aerobica è relativamente poco sensibile al pH dei substrati di partenza; ciò in ragione dell'ampio spettro di microorganismi associati ai substrati stessi e coinvolti nelle reazioni di processo.

I valori ottimali del **pH cadono nell'intervallo tra 6,5 e 8**, tuttavia la naturale capacità tampone del processo rende possibile l'impiego di substrati con pH compresi in un ben più ampio spettro.

La biostabilizzazione, in effetti, può innescarsi anche in matrici tendenzialmente acide, con pH fino a 5,5, o alcaline, con pH fino a 9.

Nel materiale in corso di stabilizzazione i valori del pH cambiano col progredire del processo. Così, **il rilascio di acidi organici può temporaneamente abbassare il pH nei primi stadi della biostabilizzazione**. Durante la fase termofila, con l'intensificarsi del rilascio di **ammonio (NH4OH) nel mezzo ad opera della microflora ammonizzante, il pH subisce un sensibile aumento**. Il pH torna nuovamente a **scendere** durante la fase di **finissaggio**, anche grazie all'attività dei batteri nitrificanti che trasformano, in sequenza, l'ammonio in acido nitroso e nitrico.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

Stabilità del prodotto

La caratterizzazione della stabilità biologica, sia del compost sia della FOS, può essere effettuata per mezzo dell' **indice respirometrico**.

Anche nella legislazione vigente sono indicati limiti per quanto riguarda questo parametro per una gestione compatibile dei rifiuti, sia per un utilizzo del compost prodotto da raccolta differenziata sia per un utilizzo della FOS proveniente dal trattamento della frazione organica selezionata meccanicamente dal rifiuto tal quale.

L'indice di respirazione è il consumo di ossigeno riferito all'unità di massa (S.T. solidi totali, S.V. solidi volatili) e all'unità di tempo.

$$\frac{mgO_2}{kgS.T.h} \quad \text{oppure} \quad \frac{mgO_2}{kgS.V.h}$$

Esistono essenzialmente due tipologie di metodi per la misura di questo indice:
Metodi Statici: la determinazione dell'indice è ricavata non garantendo al campione una aerazione forzata ma registrando il consumo di ossigeno che riesce a filtrare all'interno del materiale.
Metodi dinamici: si agisce attraverso una aerazione forzata del materiale in modo da garantire un apporto di ossigeno ottimale per la degradazione del substrato (O_2>15%).

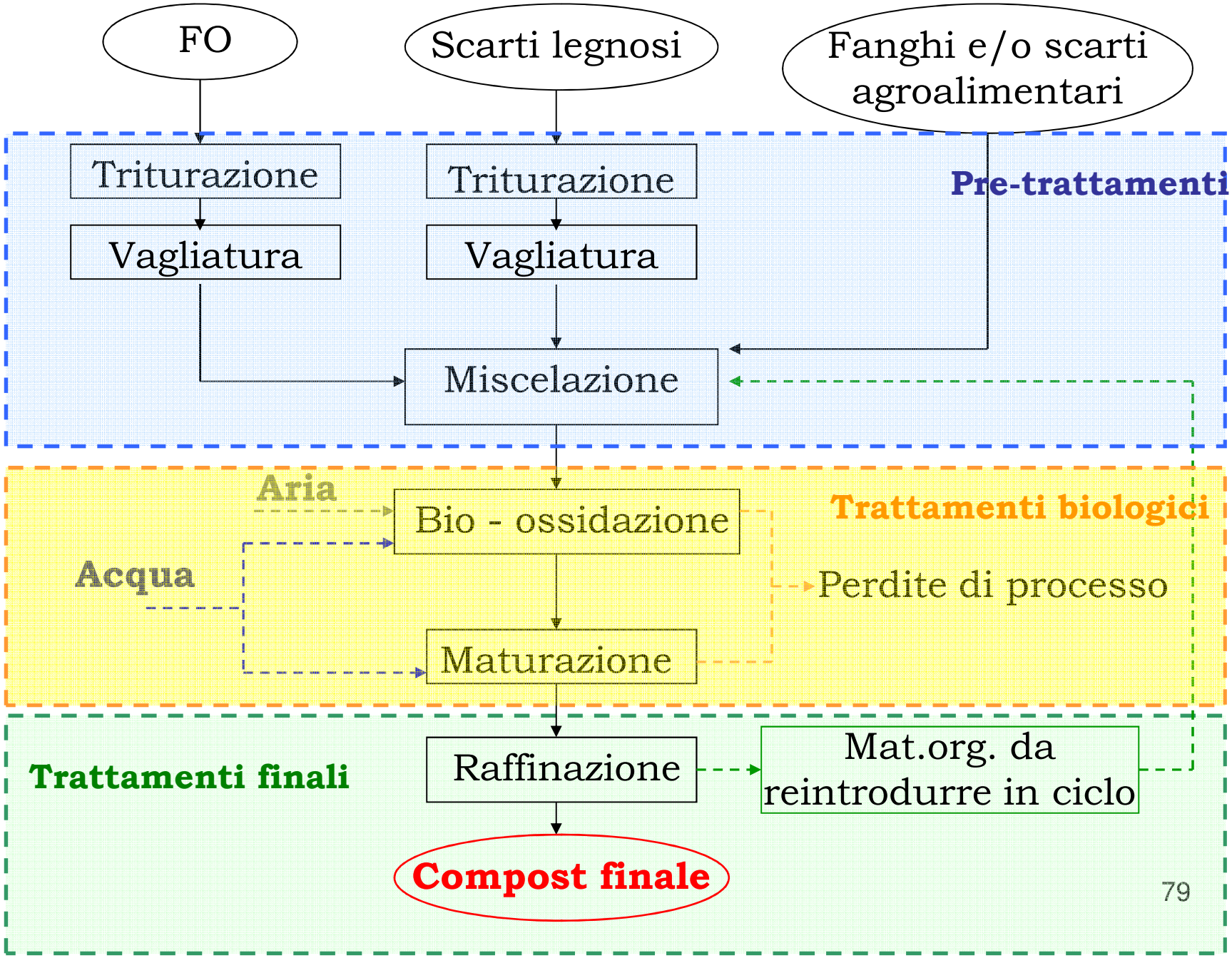
TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

COMPOSTAGGIO - SISTEMI IMPIANTISTICI

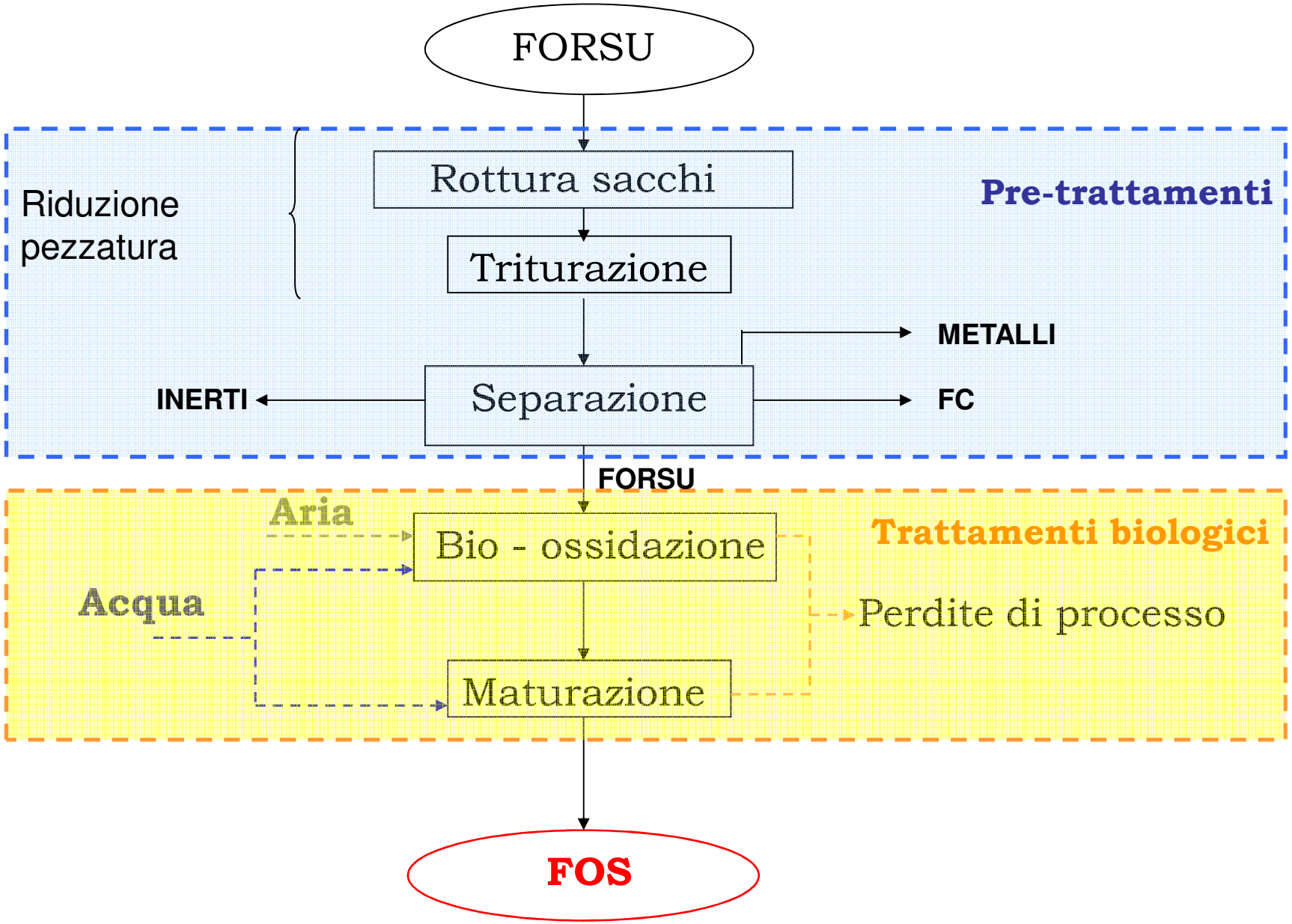
Un impianto di compostaggio, indipendentemente dalla tipologia di materiali da trattare e del livello tecnologico, è schematizzabile in tre blocchi:

- pre-trattamenti
- trattamenti biologici
  - ➢ (ACT: Active Composting Time o bio-ossidazione accelerata $\mathbf{O_2}$ ↑
  - ➢ maturazione (curing phase) $\mathbf{O_2}$ ↓
- trattamenti finali (raffinazione per qualità compost)

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI – Schema processo compostaggio



TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI – Schema processo FOS



TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

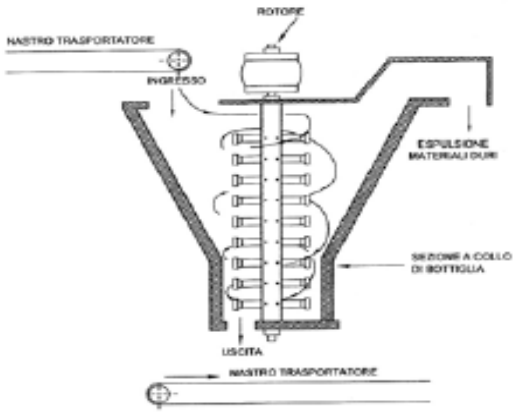
SISTEMI IMPIANTISTICI – COMPOSTAGGIO - PRE-TRATTAMENTI

In base alla tipologia di rifiuti si prevedono una serie di operazioni di pre-trattamento che possono prevede la **triturazione** dei rifiuti e la **preparazione della miscela** per alimentare la linea di processo.

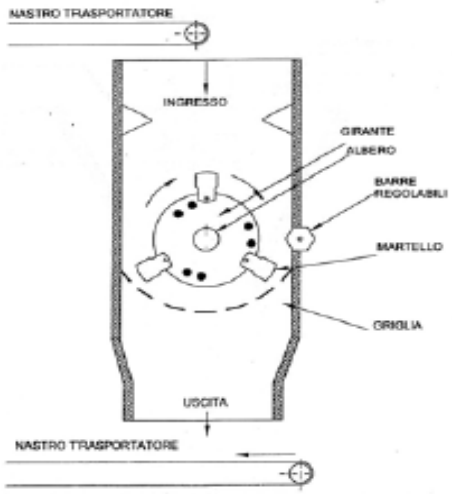
È ovvio che le macchine destinate alla frantumazione ed allo sminuzzamento di materiali ligno-cellulosici dovranno vincere la resistenza meccanica elevata di queste matrici. In questi casi, si ricorrerà a trituratori a dischi uncinati (*hooked cutter disc grinder*), a mulini a martelli (*hammer mill*) o a trituratori a tramoggia rotante (*rotating tub grinder*).

È da notare che queste macchine sono tutte caratterizzate da un elevato numero di giri degli elementi frantumatori o di taglio.

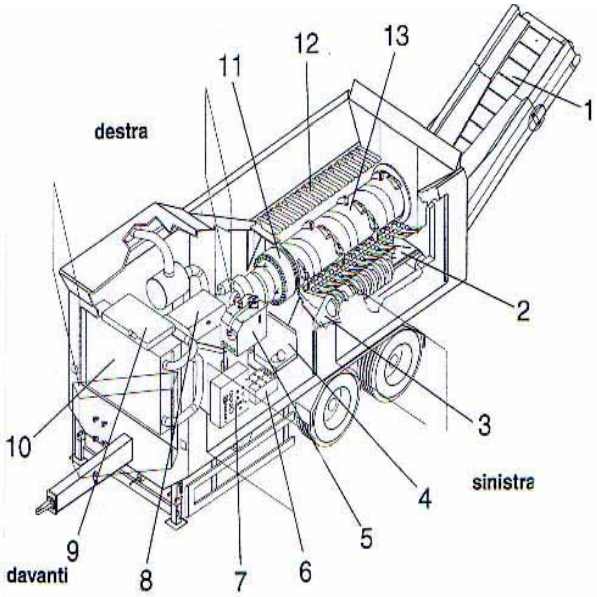
MULINO A MARTELLI



VERTICALE



ORIZZONTALE

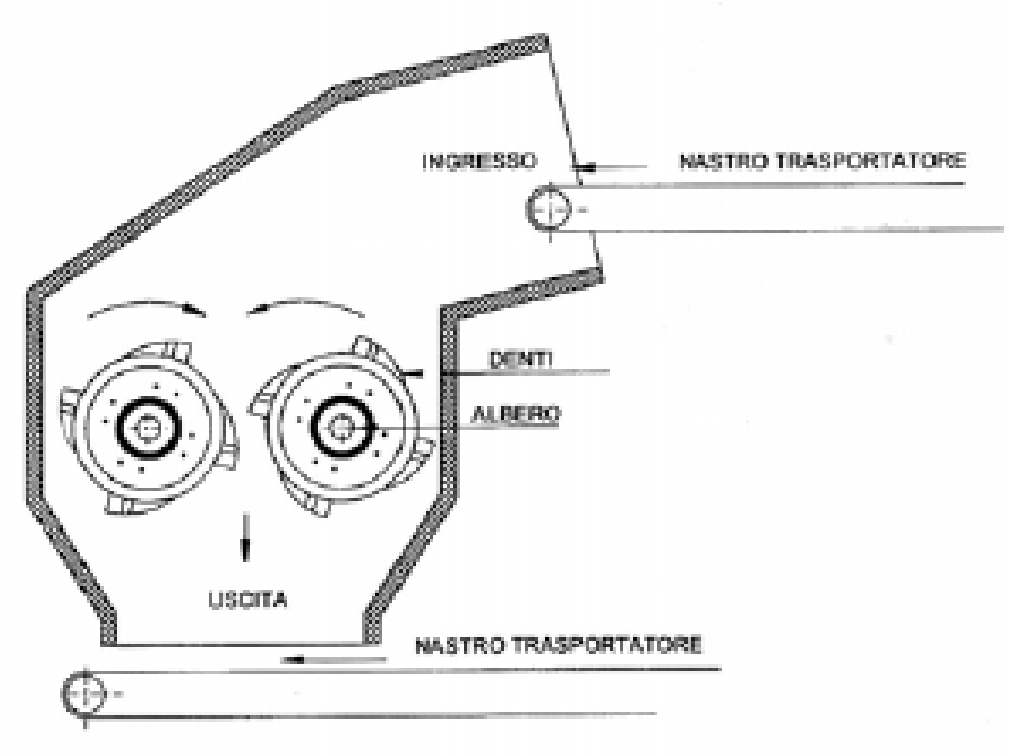


1 Nastro posteriore
2 Nastro inferiore
3 Pettine
4 Serbatoio carburante
5 Serbatoio dell'olio idraulico
6 Batterie
7 Quadro di comando
8 Motore
9 Serbatoio di compensazione/ refrigeratore di acqua
10 Scambiatore di calore olio-acqua
11 Riduttore
12 Contropettine
13 Rullo di triturazione

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI – COMPOSTAGGIO - PRE-TRATTAMENTI

Quando invece una matrice organica presenta scarsa resistenza ed elevato contenuto di umidità, se sottoposta ad energica sollecitazione meccanica, tende inevitabilmente a trasformarsi in poltiglia o, addirittura, in una sorta di purea. In tali circostanze è necessario ricorrere a macchine del tipo sminuzzatori (*shredder*) a pettini fissi su nastri convogliatori ovvero a dilaceratori a coltelli rotanti a basso numero di giri.



TRITURATORE A LAME

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI – COMPOSTAGGIO - PRE-TRATTAMENTI

La **miscelazione** si rende necessaria per omogeneizzare le caratteristiche del materiale in ingresso al processo rendendolo il più idoneo possibile all'azione dei microrganismi, assicurando le giuste condizioni di porosità, densità apparente ed umidità.
Dunque è necessario miscela diversi materiali che conferiscano le caratteristiche nutritive (fanghi, deiezioni animali, FORSU, che contengono P, K, N e C) con scarti ligno-cellulosici per le caratteristiche strutturali. La miscelazione viene effettuata con pala meccanica o miscelatori.

Miscelatore a coclea rotante

Trituratore miscelatore alimentato da pala meccanica

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

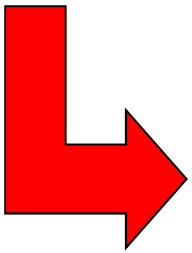
SISTEMI IMPIANTISTICI – PROCESSI BIOLOGICI

Le due fasi di bio-ossidazione e maturazione vengono solitamente effettuate in maniera distinta e dunque i sistemi utilizzati sono diversi (obiettivi diversi):

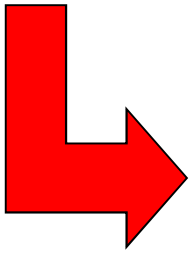
BIO-OSSIDAZIONE: accelerare la trasformazione mediante l'ottimizzazione dei principali parametri di processo (ossigeno, umidità, temperatura) + riduzione impatto ambientale

MATURAZIONE: controllo del processo per bilancio ottimale fra contenuto organico e stabilità chimica

La tecnologia utilizzata per la fase di **bio-ossidazione** accelerata è quella che caratterizza l'impianto e dipenderà da:



<u>Tipologia rifiuto</u>:
- umidità
- densità
- stabilità strutturale
- putrescibilità
- etc.



<u>Condizioni locali</u>:
- caratteristiche climatiche (piovosità, venti dominanti)
- distanza da centri abitati (impatto odorigeno, traffico, rumore, rischi igienici)
- esigenze igienizzazione (patogeni)
- requisiti qualità compost (grado di maturazione, fitotollerabilità)
- disponibilità superfici
- disponibilità spesa (automazioni, presidi ambientali, etc.)

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Le tecnologie utilizzate per la fase di bio-ossidazione si distinguono in:

- sistemi chiusi o intensivi
- sistemi aperti o estensivi

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

I sistemi aperti vengono utilizzati per matrici a bassa fermentescibilità, come scarti verdi ed in generale matrici contenenti elevata frazione ligno-cellulosica.

Tali sistemi sono semplici da realizzare e quindi poso costosi:
- Sistemi aperti a cumuli aerati statici (aerazione forzata o passiva)
- Sistemi aperti con cumuli rivoltati

Cumulo statico areato: il materiale viene collocato in cumulo sottoposto ad aerazione forzata in aspirazione, con invio delle aree esauste ad un biofiltro. Il materiale in questo caso deve essere miscelato con una percentuale di bulking lignocellulosico tale per cui la densità finale sia inferiore a 0,55 t/m^3.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Cumulo rivoltato: il materiale viene disposto in cumuli (di grandi dimensioni: 3–4 m di altezza, da 3 ad oltre 30 m di larghezza) ma l'aerazione della massa viene garantita mediante rivoltamenti con pala meccanica a frequenza anche mensile.

La movimentazione può essere garantita anche con macchine rivoltatrici scavalcatrici (che avanzano a cavallo del cumulo) o dotate di nastro estrattore-elevatore per il trasferimento posteriore dei materiali, entrambe trainate o semoventi (in questo caso i tempi sono più brevi rispetto alla movimentazione con pala).

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

I sistemi chiusi operano la fase di bio-ossidazione in ambiente confinato e controllato, tipo:

- corsie e bacini (biocelle, biocontainers)
- bioreattori
- biotunnel

Sono adatti per la gestione delle frazioni più putrescibili (frazione umida RU); **il tempo di ritenzione varia da 7-10 giorni fino a 21-28 giorni**, salvo qualche eccezione, nel corso del quale si favorisce lo sviluppo della fase di bio-ossidazione accelerata (termofila, esotermica, odorigena, igienizzante) che è fonte di impatto ambientale non trascurabile; il sistema tecnologico utilizzato per tale fase viene preso a riferimento per indicare l'intero impianto; superato il periodo più delicato, le masse vengono disposte in cumulo (aerato o meno con ventilazione forzata, rivoltato o statico, al coperto o all'aperto) per completare la maturazione.

In generale in questi sistemi i parametri di processo vengono monitorati ed elaborati da un software che effettua anche la regolazione del processo (flussi e tempi di aerazione, frequenza e intensità di umidificazione, etc.).

Alti costi di investimento e di gestione (rispetto ai sistemi aperti) quindi adottati per dimensioni medio-grandi.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Le corsie o bacini sono comparti delimitati da muratura, serviti da macchine rivoltatrici automatizzate e da sistemi di aerazione.

I bioreattori possono essere semplici vasche aperte, moduli orizzontali o verticali chiusi, circolari o parallelepipedi, rotanti o statici, dotati o meno di sistemi di movimentazione o aerazione forzata delle masse.

I biotunnel sono simili alle corsie ma chiusi su tutti i lati

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Corsie

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

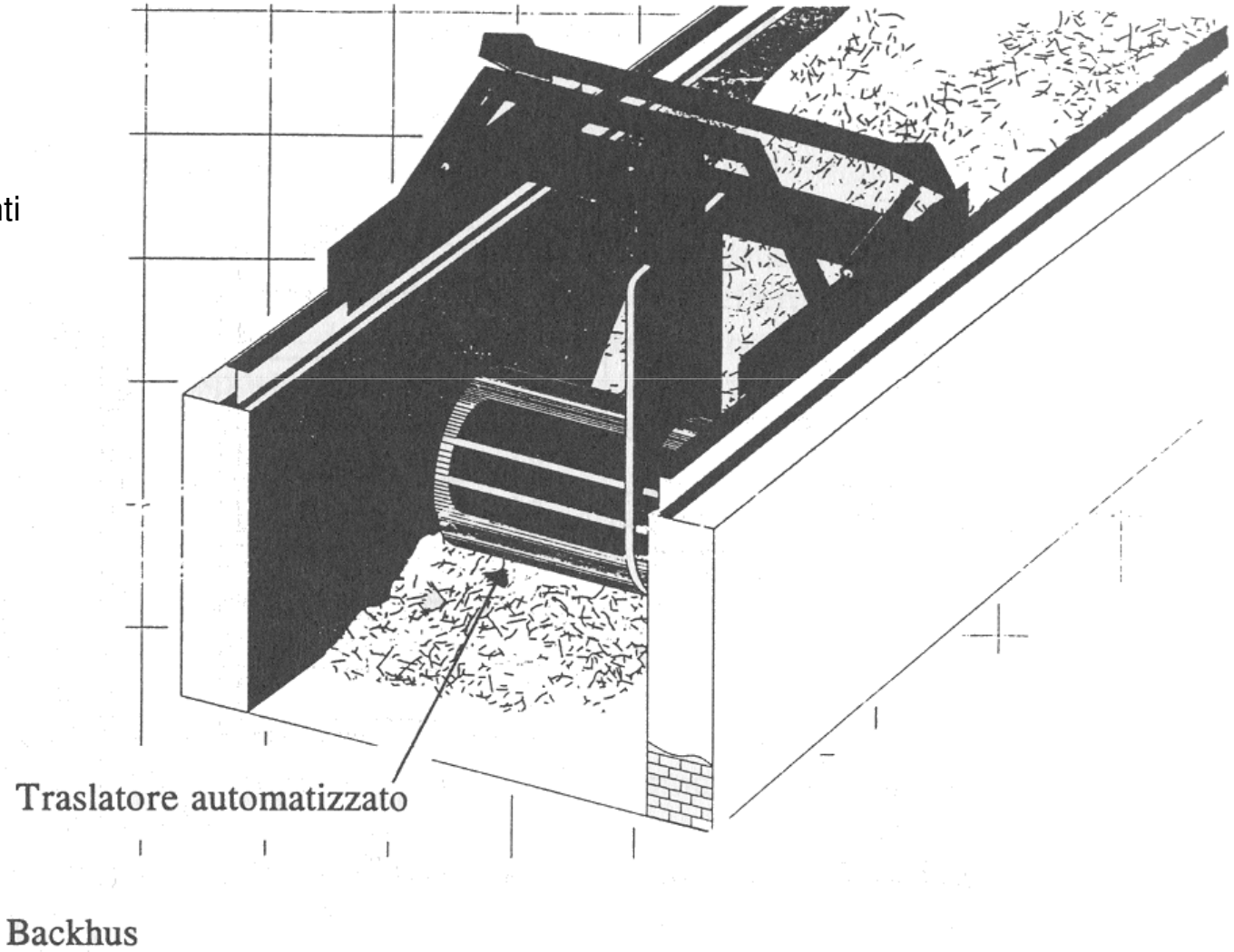
SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE

Corsie a ciclo continuo

Aerazione:

Rivoltamenti

Aerazione forzata



Backhus

Diverse tipologie: Backhus Kompostmat; Passavant; Sutco Biofix, DBA Babcock

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Corsie a ciclo continuo

Il principio è quello del rivoltamento delle masse con trasferimento del materiale, mediante macchine rivoltatrici automatizzate che procedono lungo lo sviluppo di corsie delimitate da pareti in muratura.

Ad ogni passaggio (effettuato sempre nello stesso senso di marcia) tutto il materiale viene trasferito lungo la corsia e in tal modo la miscela, introdotta ad una estremità della stessa, definita zona di alimentazione, dopo un determinato numero di rivoltamenti giunge alla estremità opposta, indicata come zona di scarico, avendo subito una prima stabilizzazione biochimica che ne rende possibile il trattamento in cumulo all'aperto (maturazione).

La lunghezza della corsia è funzione del tempo di permanenza e del numero di rivoltamenti previsti: stabilita la durata della fase accelerata (ad es. 24 giorni) ed il conseguente n° di movimentazioni (ad es. 20 in 24 giorni, domeniche escluse) e nota la lunghezza di traslazione (ad es. 3 m) la corsia misurerà 60 m (3x20 m).

La quantità di materie prime in ingresso (dato giornaliero medio) determina il numero di corsie necessarie (100 m^3/giorno totale; 20 m^3/giorno per corsia → 5 corsie).

L'ossigenazione delle masse in trasformazione è garantita dai rivoltamenti meccanici e, nella maggior parte dei casi, anche da aerazione forzata attraverso canalette grigliate poste sul fondo delle corsie.

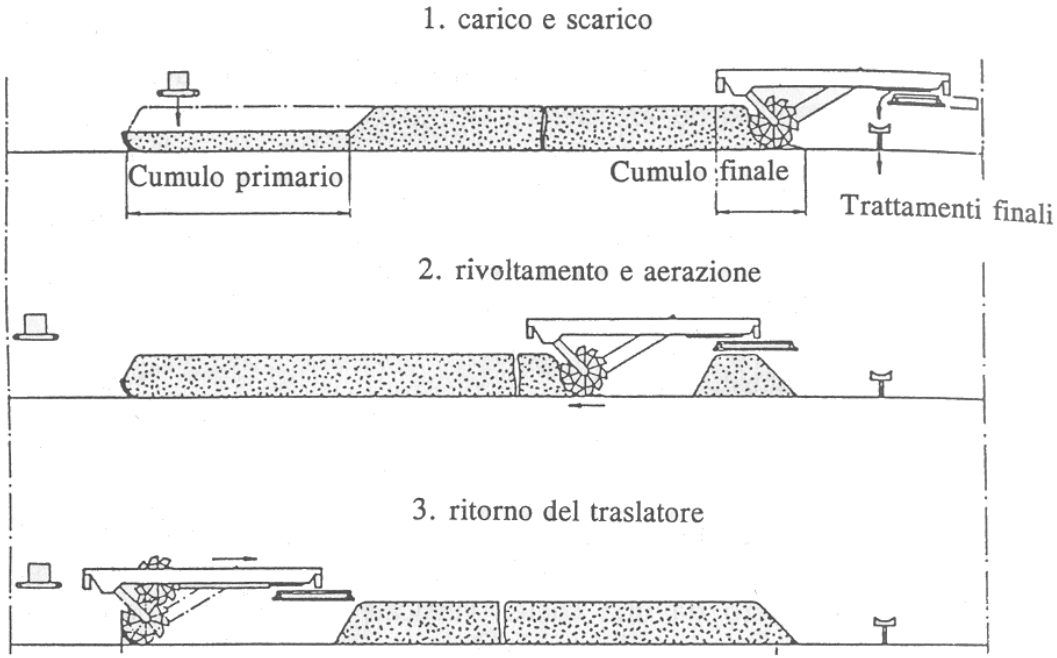
Il capannone che ospita le corsie è dotato di aspirazione dell'aria avviata a trattamento.

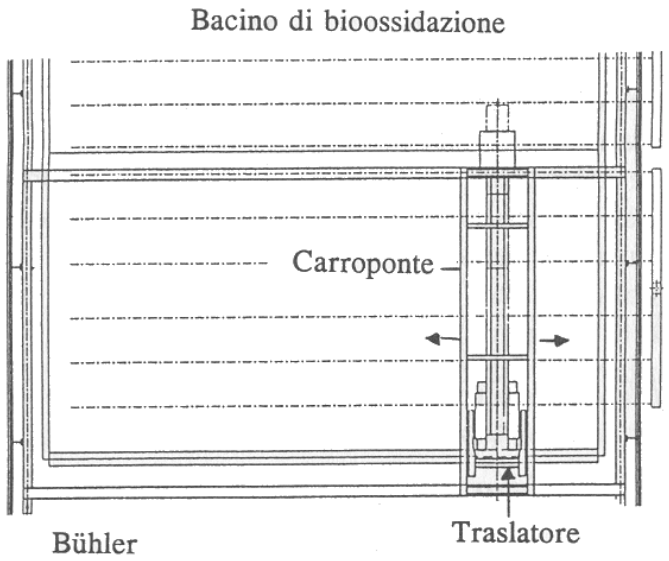
TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Reattori orizzontali a bacino.

Sfruttando il principio delle trincee a ciclo continuo o discontinuo, e con le medesime varianti impiantistiche, nel caso dei reattori a bacino il materiale viene altresì collocato in un unica corsia a notevole sviluppo dimensionale (fino a 33 m × 3 m), e rivoltato mediante un apparato traslatore costituito da rivoltatrici scorrevoli trasversalmente su carroponte.





TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Bacini a ciclo continuo

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Bacini a ciclo continuo

Applicano lo stesso principio delle corsie a ciclo continuo, ma con trasferimento del materiale mediante macchine portate su carroponte in corsia unica con larghezza elevata (fino a 33 m) e altezza del "cumulo a tavola" oltre 3 m. L'apparato traslatore percorre il bacino per tutta la sua larghezza, asportando al suo passaggio una sezione di cumulo (nell'ordine dei 20 cm) trasferendola posteriormente in un cumulo di altezza pari a quella precedente. Il carroponte guida sia la traslazione laterale della macchina sia l'avanzamento lungo il bacino.

Le miscele fresche vengono disposte in cumulo ad una estremità del bacino mediante nastri trasportatori; ad ogni rivoltamento il materiale viene trasferito per una lunghezza variabile (regolabile con l'estensione dei nastri di scarico) finché dopo un numero prestabilito di rivoltamenti in un tempo prefissato giunge all'estremità opposta del bacino. Mediante un ulteriore passaggio del traslatore la massa viene trasferita su nastri trasportatori ed avviata all'eventuale fase di maturazione o ai trattamenti finali.

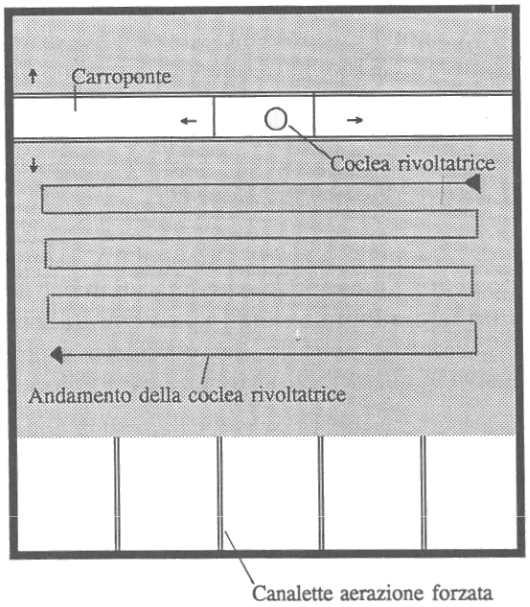
I bacini di bio-ossidazione sono serviti da sistemi di aerazione forzata delle masse, l'aria esausta di processo unitamente a quella dei capannoni che ospitano il bacino viene avviata a trattamento.

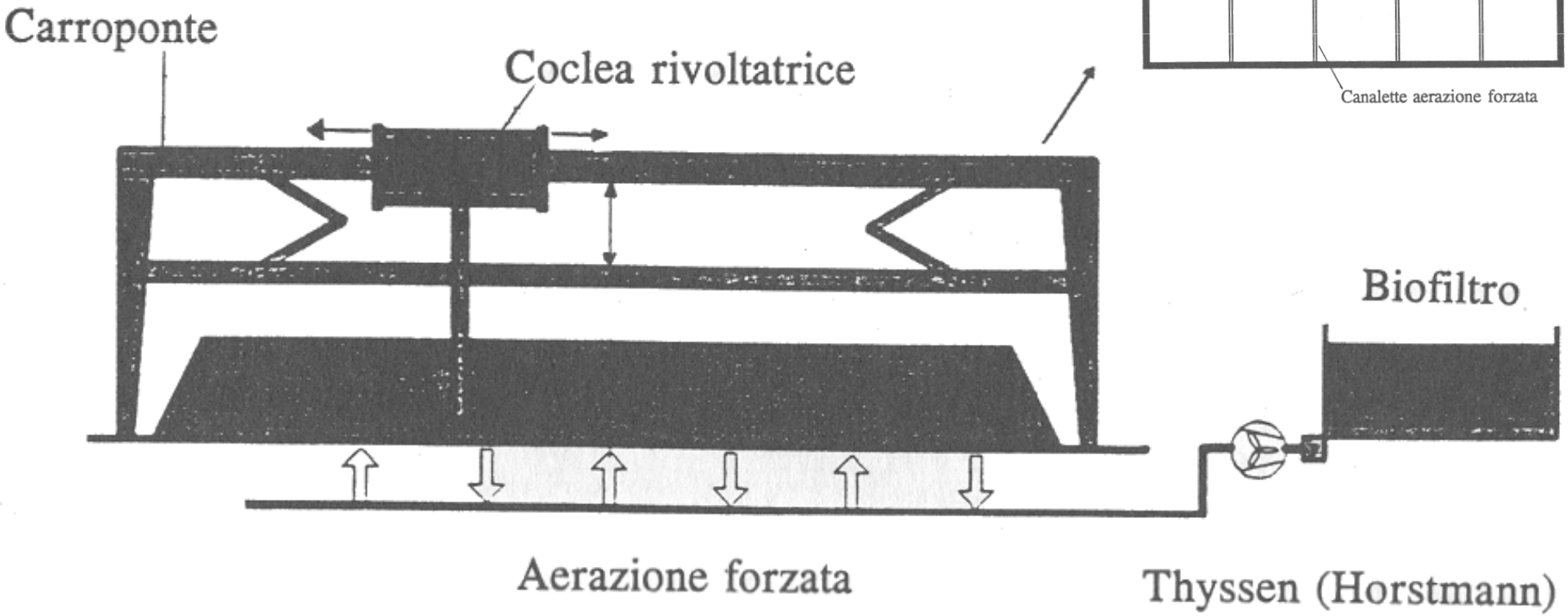
Sono previsti sistemi automatizzati per l'umidificazione delle masse.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Bacini a ciclo discontinuo





TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Bacini a ciclo discontinuo

Non si verifica la traslazione delle masse lungo il bacino: le miscele fresche vengono alimentate con carroponte e nastri navetta e disposte in cumuli a tavola, aerati e rivoltati senza tuttavia variarne la posizione. Dopo un tempo prefissato la totalità del materiale stabilizzato presente in bacino viene raccolta ed inviata alla maturazione.

La struttura del bacino discontinuo prevede l'alloggiamento in un capannone chiuso provvisto di aspirazione/depurazione dell'aria esausta.

Sistema di irrigazione

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Reattori chiusi a tenuta stagna.

Nei reattori di tipo statico (biocelle e biocontainers) il materiale viene sottoposto per un periodo prefissato ad una fase di fermentazione accelerata mediante aerazione forzata della massa.
È sempre previsto un sistema di raccolta dei percolati ed un trattamento dell'aria esausta prima dell'immissione in atmosfera.

Esistono diverse varianti dei reattori chiusi:

• Biocontainers a sistema dinamico, in cui la massa, oltre che sottoposta ad aerazione forzata, viene periodicamente rivoltata secondo un programma che assicura la totale automazione del processo.

• Biotunnel a ciclo continuo, costituiti da moduli dotati di aerazione forzata, controllo dei parametri di processo e particolari sistemi per l'avanzamento del materiale da una estremità di alimentazione ad una di scarico.

• Biotunnel a ciclo discontinuo, in cui il materiale viene disposto nel tunnel, e lì permane in condizioni di aerazione forzata e, a volte, di rivoltamento, prima di essere scaricato.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Reattori chiusi a tenuta stagna.

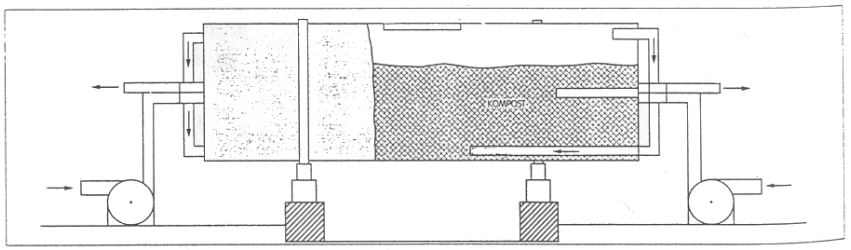
• Biotamburi, reattori a sviluppo orizzontale in cui il materiale viene disposto in condizioni di adduzione di aria e canalizzazione e raccolta delle arie esauste. Il rivoltamento della massa avviene ad opera della rotazione del reattore stesso. Carico e scarico possono essere in continuo o in batch. Il sistema è particolarmente indicato per la fase ACT in trattamenti intensivi di compostaggio, o come pretrattamento dinamico di omogenizzazione e pre–fermentazione accelerata, prima del passaggio ad altre tecnologie
di stabilizzazione.

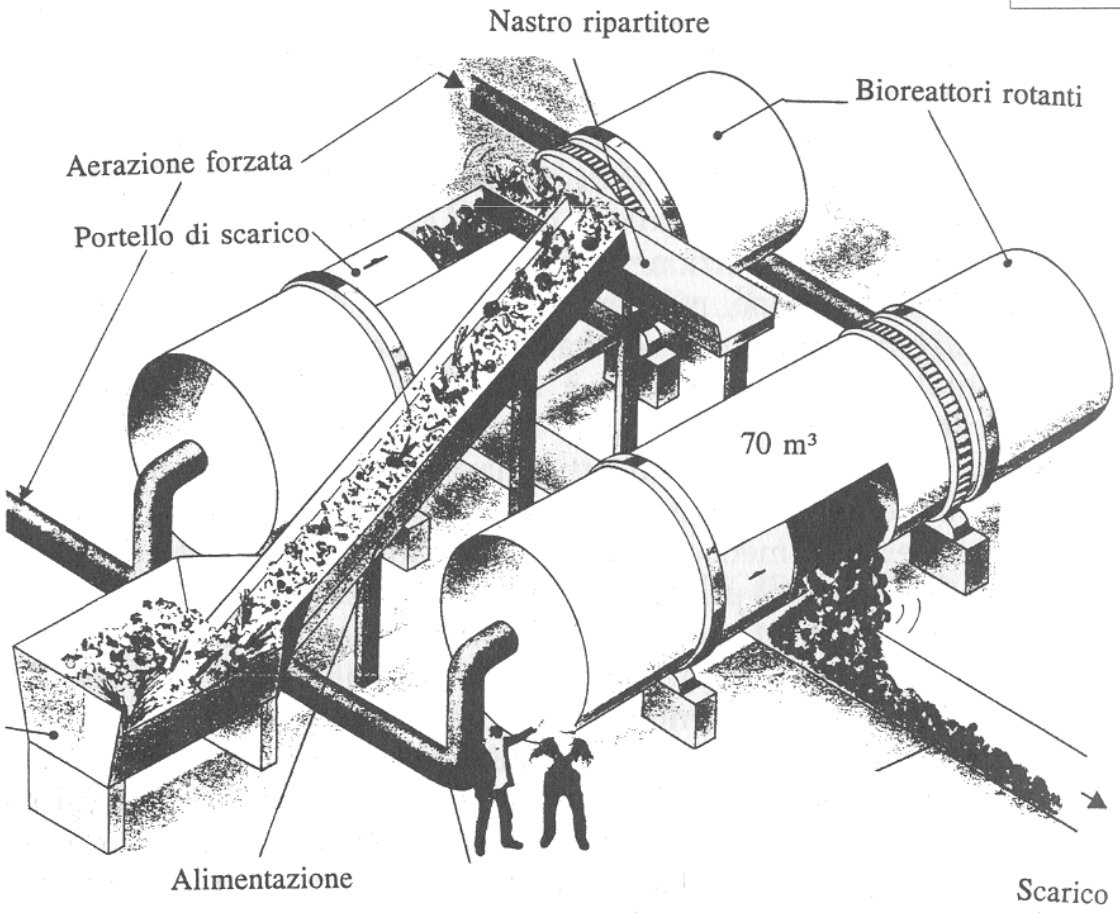
• Sili, **reattori a sviluppo verticale** con areazione forzata in cui il materiale viene collocato, in modo continuo o discontinuo. I reattori consistono in torri mono o pluristadio (con setti divisori orizzontali), con carico dall'alto e insufflazione generalmente dal basso. Il sistema è generalmente statico o semi–dinamico. Tecnologia poco diffusa, presenta un limite operativo nei **frequenti compattamenti** e nelle **difficoltà di diffusione dell'ossigeno** all'interno della massa.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Bioreattore orizzontale cilindrico a ciclo discontinuo (tipo Envital)





Aerazione forzata

Rivoltamento

4-5 GIORNI

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Bioreattore orizzontale cilindrico a ciclo discontinuo (tipo Envital)

E' costituito da un cilindro metallico di volume variabile a seconda dei modelli e volume utile circa 80%, posto orizzontalmente su un basamento in c.a., rotante per mezzo di motori elettrici.

Il caricamento del reattore è automatizzato ed avviene per mezzo di una tramoggia mobile su binari munita di nastro trasportatore-elevatore che alimenta un nastro ripartitore.

La fase accelerata ha una durata di 4-5 giorni durante i quali il rivoltamento e l'aerazione sono regolati in funzione della temperatura e del tenore di ossigeno (attivati in media per il 10-15% del tempo di permanenza).

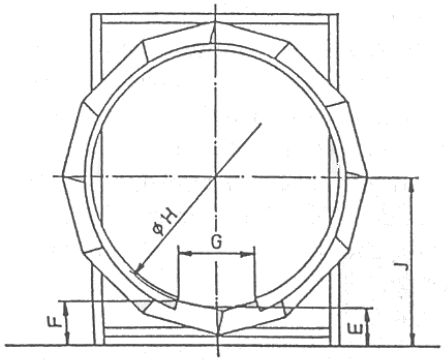
Lo svuotamento si effettua scaricando il materiale su un nastro trasportatore posto sotto il reattore, attraverso lo stesso portello di caricamento. L'aria esausta aspirata dal cilindro viene avviata a depurazione chimica e/o biologica.

Tecnologia adottata in alcuni impianti tedeschi.

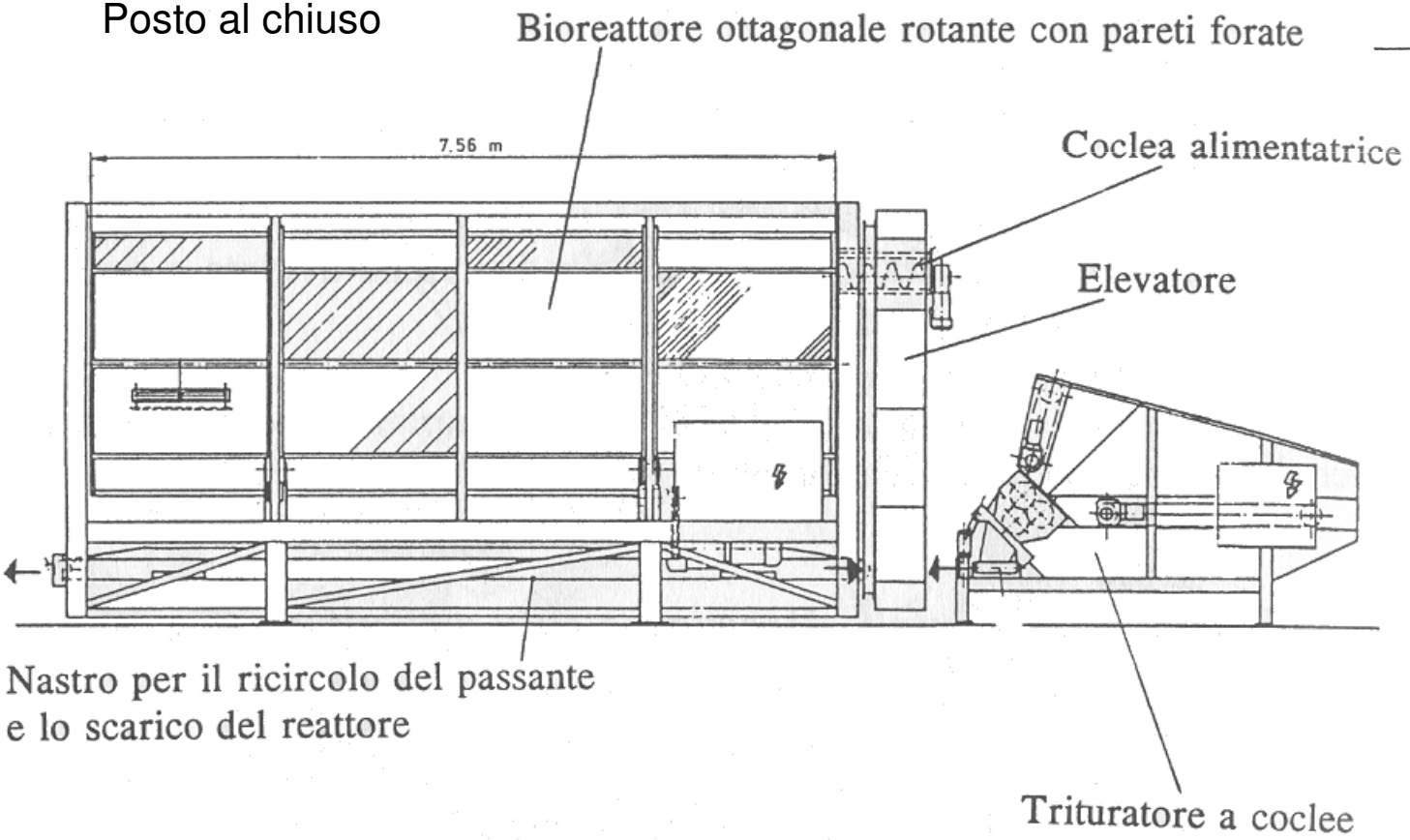
TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Bioreattore orizzontale ottagonale a ciclo discontinuo (tipo Lescha)



E' l'unico caso di reattore aperto e sprovvisto di aerazione forzata.
10 GIORNI
Rotazione
Posto al chiuso



TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Bioreattore orizzontale ottagonale a ciclo discontinuo (tipo Lescha)

Consiste in un modulo orizzontale a sezione ottagonale avente pareti forate con luci di diametro da 40 a 18 mm a partire dal lato di carico. La rotazione avviene per mezzo di un motore elettrico.

Il materiale fresco (triturato con un mulino a coclee che serve una batteria di reattori) viene introdotto tramite nastro trasportatore.

La rotazione è programmata per un tempo definito e ripetuta un certo numero di volte al giorno.

La frazione passante dai fori delle pareti viene raccolta su un nastro trasportatore che la convoglia al sistema di caricamento per la reimmissione in circolo.

La fase accelerata si completa in 10 giorni, al termine dei quali il materiale viene scaricato, attraverso l'apertura ricavata nelle pareti, su un nastro trasportatore (lo stesso usato per la reimmissione ma usato in senso opposto) e avviato a maturazione.

Per il contenimento della emissioni odorigene le batterie di reattori vengono alloggiate in costruzioni chiuse poste in leggera depressione, servite da sistemi di aspirazione e depurazione dell'aria.

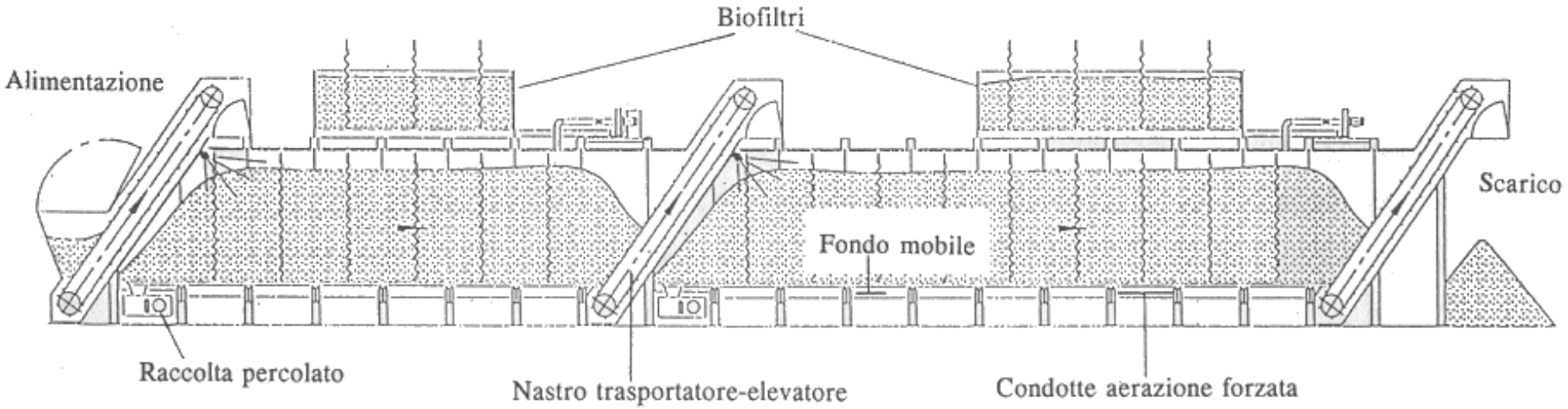
I nastri di scarico depositano il materiale all'esterno della struttura.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Bioreattore orizzontale rettangolare a ciclo continuo (tipo Vogel & Muller KoRa)

Aerazione forzata



3 GIORNI

4 GIORNI

rivoltamento

Impianto Bressanone BZ

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Bioreattore orizzontale rettangolare a ciclo continuo (tipo Vogel & Muller KoRa)

E' un reattore metallico coibentato a sezione rettangolare costituito dalle seguenti parti:

- tramoggia di alimentazione
- nastro trasportatore per il carico del materiale nel reattore
- prima sezione di bio-ossidazione dotata di fondo mobile
- nastro elevatore per il rivoltamento delle masse
- seconda sezione di bio-ossidazione dotata di fondo mobile
- nastro di estrazione e scarico

La miscela fresca viene inserita nella tramoggia di alimentazione con pala meccanica e successivamente un nastro trasportatore a barre la trasporta e scarica all'interno della prima sezione di bio-ossidazione. Lo spazio per l'accumulo del materiale viene ricavato facendo avanzare le masse mediante fondo mobile di cui è provvisto il reattore.

L'avanzamento è regolato in modo che dopo 3 giorni le biomasse giungono al termine di questa prima sezione e prelevate da un nastro elevatore che le deposita nella seconda sezione di bio-ossidazione. Qui si ripete il ciclo per 4 giorni consecutivi, al termine dei quali il materiale stabilizzato giunge nella parte terminale del reattore, ove viene prelevato da un nastro trasportatore che lo scarica all'esterno.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Bioreattore orizzontale rettangolare a ciclo continuo (tipo Vogel & Muller KoRa)

L'ossigenazione viene garantita con insluffazione di aria dal fondo del reattore in maniera parzializzata lungo l'asse longitudinale. L'aria esausta viene aspirata nella parte superiore dei moduli ed inviata ai biofiltri posti sul tetto dell'impianto; parte dell'aria può essere ricircolata al fine di sfruttarne il calore.

Il processo è monitorato tramite strumentazione di controllo della temperatura e dell'attività respiratoria e software per l'elaborazione dei dati ed il calcolo del fabbisogno di ossigeno.

L'umidificazione è realizzata con le acque di processo raccolte sul fondo del reattore e stoccate in un serbatoio.

Le parti a contatto con i materiali in trasformazione sono in acciaio inox o trattate con prodotti anticorrosione.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

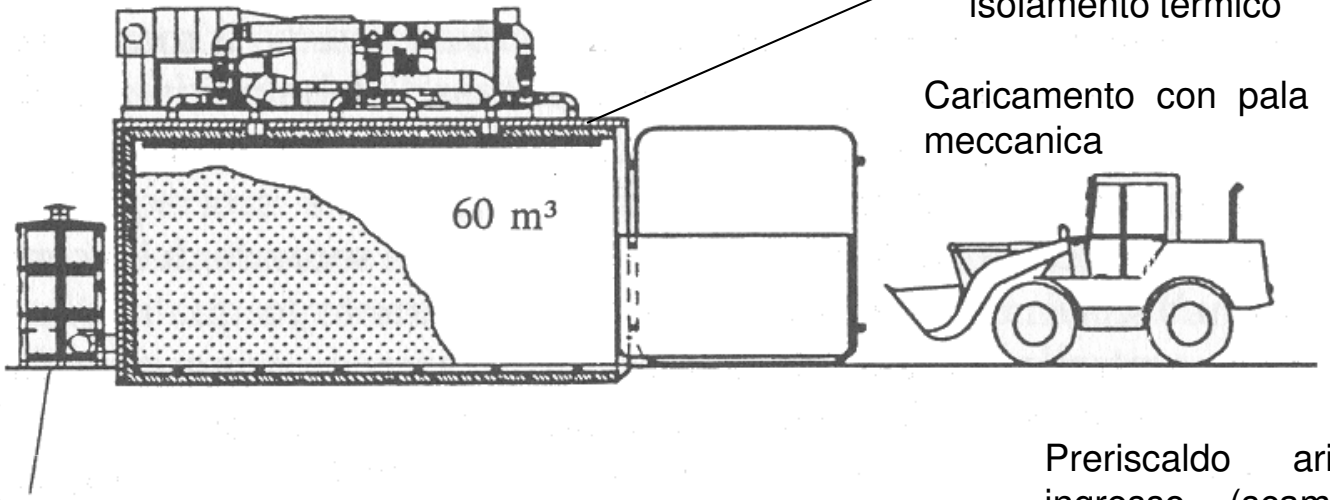
SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Biocelle a sistema statico (tipo Herof)

Cemento a tenuta stagna e isolamento termico

Caricamento con pala meccanica

7-10 GIORNI



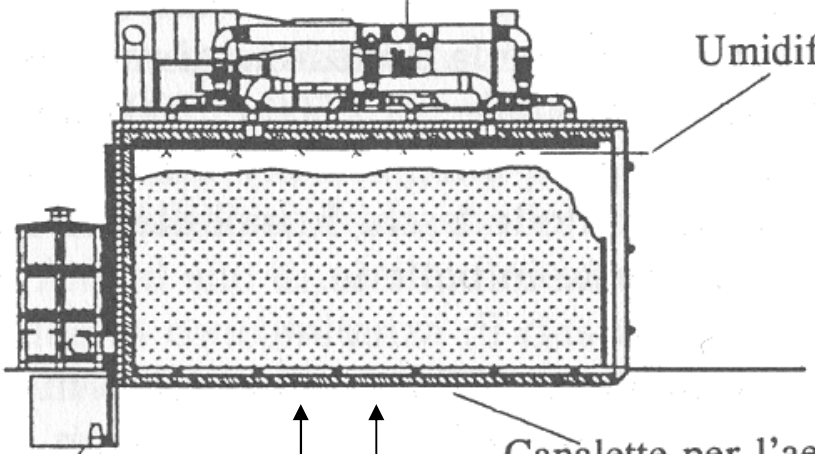
Biofiltro

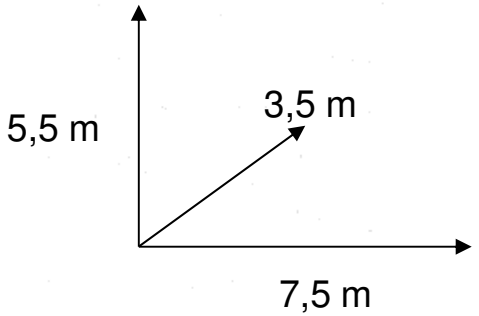
Apparato di ventilazione

Preriscaldo aria in ingresso (scambio a recupero aria esausta prima del biofiltro)

Controllo della temperatura con i flussi di aerazione

Umidificatori





Canalette per l'aerazione forzata

Captazione del percolato

Parzializzazione (6 settori) aria x conferimenti discontinui

Più di 30 impianti in Germania e Austria.

Herhof

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Biocelle a sistema statico (tipo Herof)

Sono costituite da reattori in cemento a tenuta stagna ed isolati termicamente, di forma rettangolare, provviste di un ampio portellone sul lato minore (circa 3x3 m) per il caricamento mediante pala meccanica e di un portello a grata interno per trattenere il materiale.

L'ossigenazione del materiale avviene mediante un apparato di aerazione forzata così strutturato:

- l'aria prelevata in atmosfera viene insufflata all'interno del reattore attraverso piastre metalliche forate che costituiscono il pavimento della cella; questo è suddiviso in 6 settori che permettono la parzializzazione dell'aerazione ed il funzionamento della cella anche nel caso di conferimenti discontinui;

-l'aria esausta viene prelevata nella parte alta della cella tramite ventilatori e inviata ad uno scambiatore di calore aria-aria, ad uno scambiatore di calore aria-acqua ed infine ad un biofiltro prima di essere immessa in atmosfera. Il flusso gassoso viene monitorato per i parametri sottoposti a limite.

Il raffreddamento dell'aria esausta permette di separare le sostanze odorigene solubili, mentre l'acqua di condensa può essere trattata e reimpiegata per l'umidificazione delle masse.

L'acqua riscaldata non ha utilizzo (potrebbe essere usata per riscaldamento degli edifici)

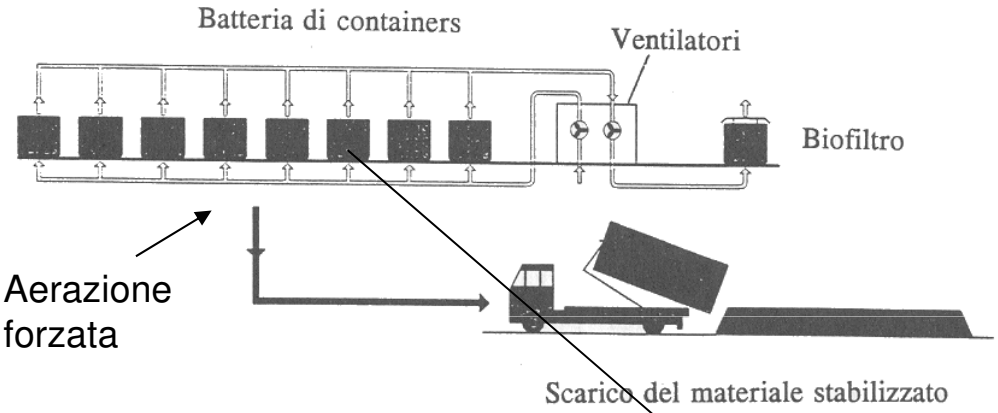
Il preriscaldo dell'aria in ingresso in essere utile soprattutto nei periodi freddi per abbreviare la fase di latenza

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

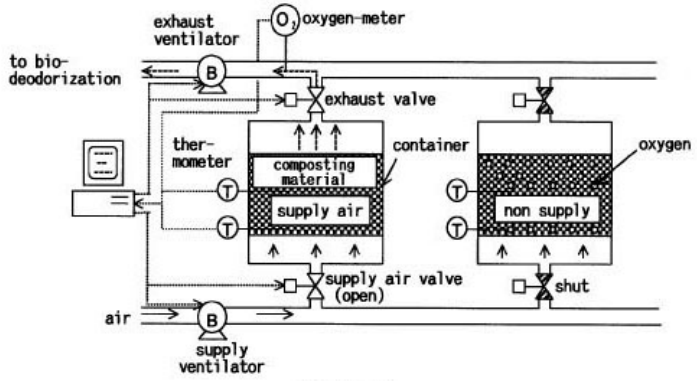
SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Biocontainers a sistema statico (tipo Horstmann)

10-14 GIORNI



Alimentazione



Svuotatura (x inclinazione)

Contenitori metallici, coibentati, anticorrosione

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Biocontainers a sistema statico (tipo BioNway, ML Entsorgung, Umweltschutz Mobicomp, Horstmann, Innovative Umwelttechnik Kompomobil, BAV Biocascade)

Sono dei moduli metallici di forma rettangolare, coibentati e trattati con prodotti anticorrosione. L'alimentazione è effettuata aprendo il coperchio sul alto superiore ed inserendo il materiale fresco mediante pala meccanica o nastri trasportatori; lo svuotamento avviene attraverso l'apertura del portellone posto sul lato minore e per effetto dell'inclinazione del container.

L'ossigenazione delle masse viene mantenuta su valori ottimali mediante aerazione forzata, ottenuta con ventilatori e canalette o condotte forate poste sul fondo del container; l'aria esausta viene depurata in biofiltro.

Il reattore è dotato di condotte per la captazione e l'allontanamento del percolato.

La fase accelerata ha una durata di 10-14 giorni.

Il sistema è modulare. I reattori e le relative attrezzature di supporto sono trasportabili mediante automezzi provvisti di sistema scarrabile.

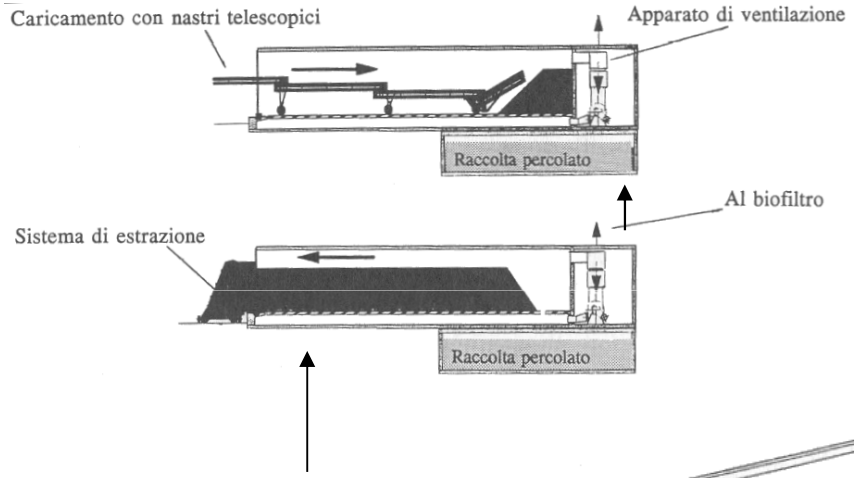
(Esempi in Germania)

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

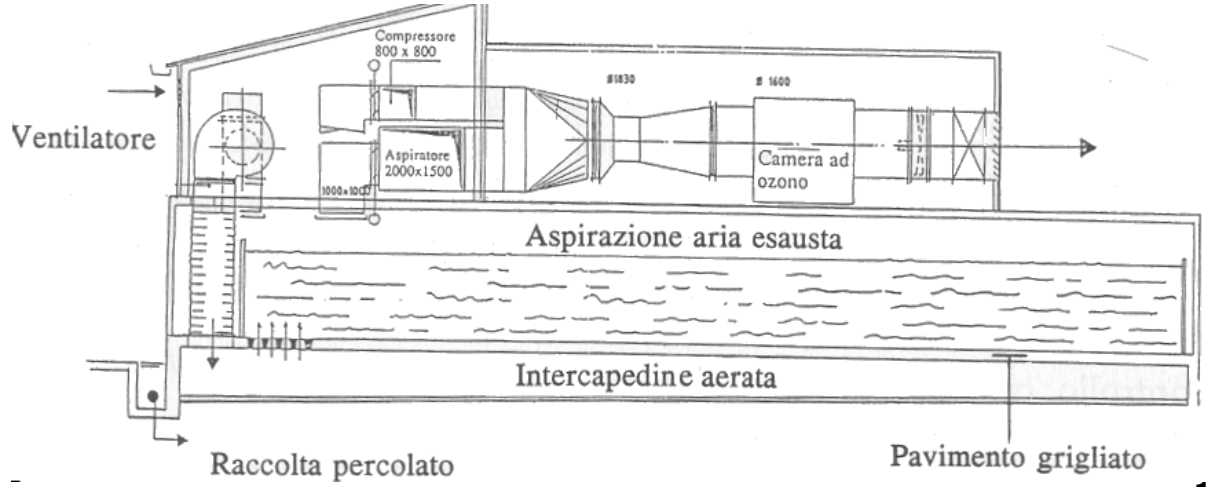
Biotunnel a ciclo discontinuo

14 GIORNI



aerazione

moduli a sezione rettangolare, in muratura o metallo, coibentati



TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Biotunnel a ciclo discontinuo

Sono costituiti da moduli a sezione rettangolare, in muratura o metallo, coibentati, disposti orizzontalmente ed affiancati in batteria. Sono provvisti di apertura su un lato minore e dotati di sistemi di aerazione forzata dal pavimento, captazione e ricircolo dei percolati, aspirazione delle arie esauste e successiva biofiltrazione, strumenti di monitoraggio dei parametri di processo.

Il funzionamento “batch” prevede il riempimento del tunnel con i rifiuti organici freschi, lo sviluppo della fase di bio-ossidazione accelerata con biomassa statica aerata, lo svuotamento del modulo e trasferimento del materiale stabilizzato alla sezione di maturazione.

Vantaggi del processo in biotunnel

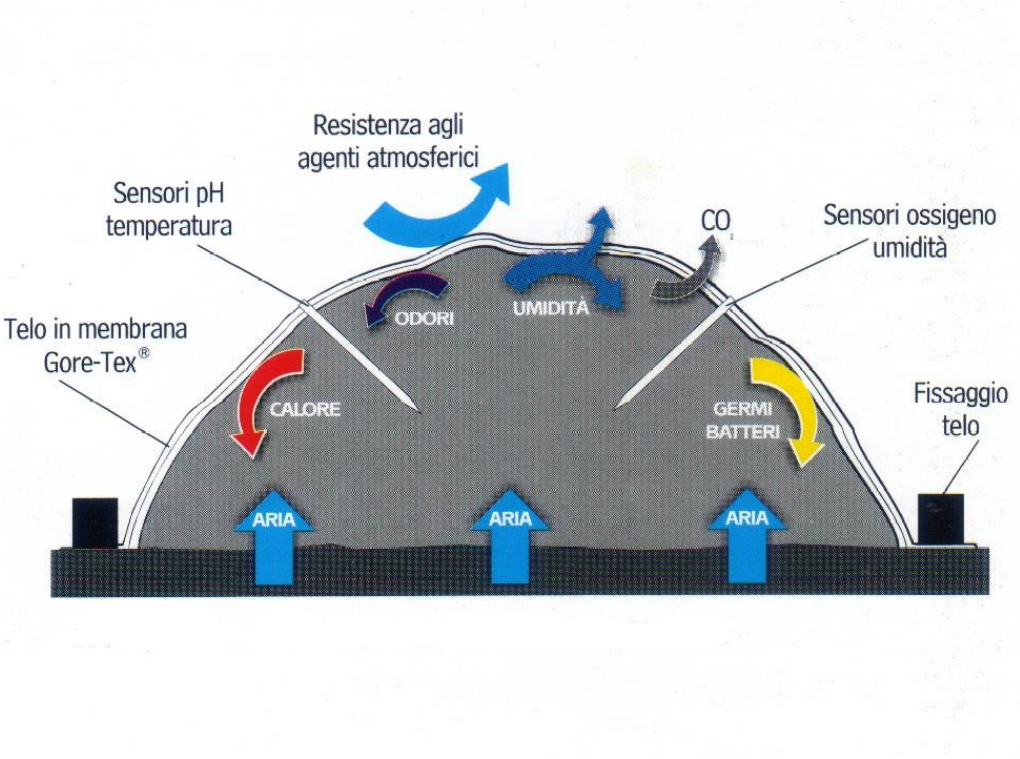
trattamento di lotti di rifiuti diversi in funzione delle caratteristiche del materiale conferito (scarti vegetali, fanghi, rifiuti organici da attività commerciali, etc.), conferendo flessibilità all’impianto (anche modularità x ampliamento)

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Bioe®

La tecnologia Bioe® utilizza un telo in Gore-Tex® per la copertura del materiale organico da bio-ossidare. Il telo ha la funzione di mantenere all'interno del cumulo le condizioni ideali per i processi di degradazione aerobica insieme ad un sistema software di controllo e gestione dei parametri di funzionamento (aerazione forzata).
Il trattamento avviene in zone autonome, ognuna dotata di muri di contenimento del materiale, che semplificano le operazioni di copertura con il telo.

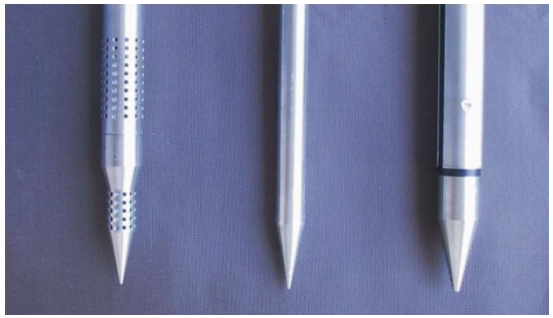


TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

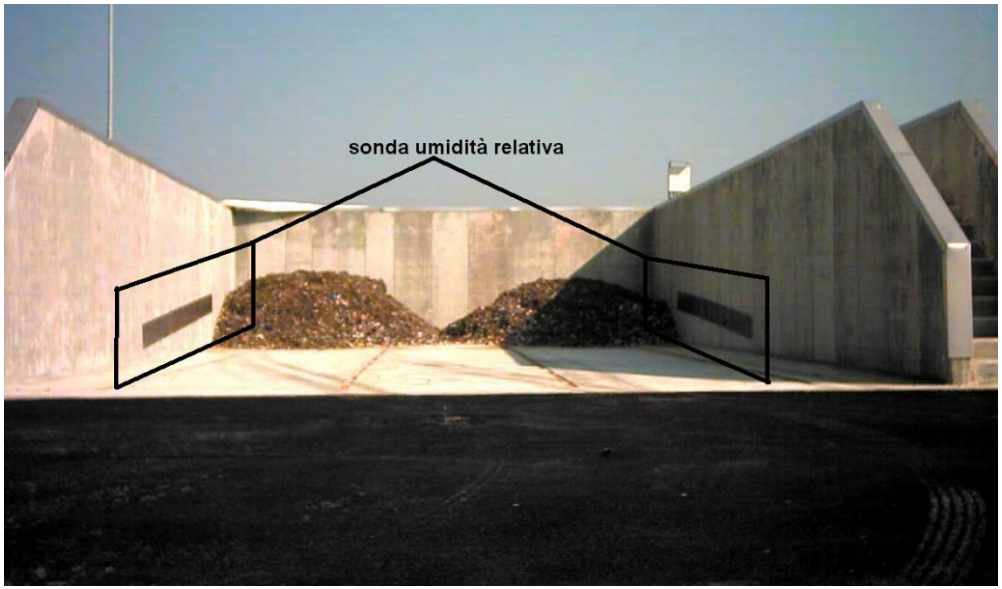
SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Bioe®

I diffusori di aria sono posti nel pavimento delle zone di trattamento da dove si asporta anche l'eventuale percolato. Il processo è controllato tramite un computer che registra i principali parametri inviati in continua da ogni cumulo, rilevati da specifiche sonde (T, O_2, pH, u) che a contatto con il materiale.



SONDE

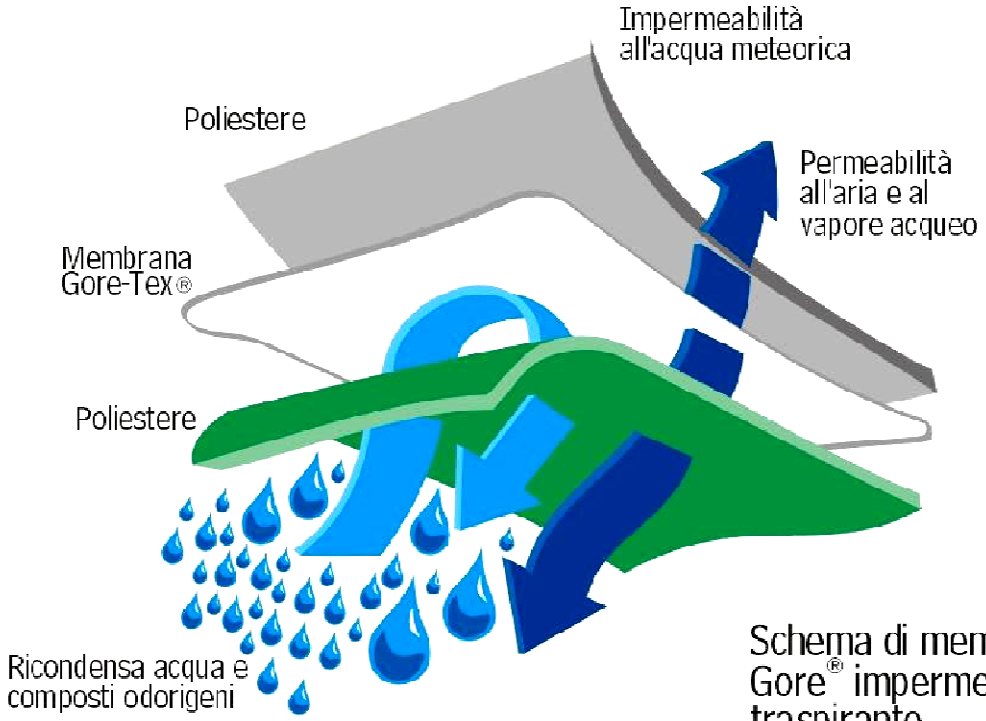


TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI E TECNOLOGIE per la BIO-OSSIDAZIONE

Bioe®

Nel processo Bioe® sono sfruttate le capacità del Gore-Tex® di essere impermeabile sia all'acqua meteorica sia a quella condensata sul telo all'interno del cumulo. Nello stesso tempo però il vapore d'acqua può traspirare dall'interno verso l'esterno.
Il telo di Gore-Tex® ha inoltre la proprietà di filtraggio delle sostanze odorose riducendo l'impatto senza un'ulteriore attrezzatura di abbattimento.



Schema di membrana Gore® impermeabile traspirante

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI per la MATURAZIONE

Sebbene sia possibile prevedere per i cumuli di maturazione sia il rivoltamento periodico che l'insufflazione forzata di aria, in molti casi si cerca di rendere **meno onerosa questa fase** operando in **cumuli statici ad aerazione passiva**, cioè basata sui soli moti convettivi dell'aria dall'esterno all'interno della matrice.

In tali condizioni, l'altezza dei cumuli di finissaggio non dovrebbe mai superare i **2,5 m di altezza**, con materiali sufficientemente porosi e **1,8 m** con matrici più fini e compatte ovvero quando il compost sia destinato ad impieghi intensivi in ambito orto-floro-vivaistico. La larghezza dei cumuli dovrebbe invece essere compresa tra 4,5 e 6 m.

Il ristagno di umidità alla base dei cumuli costituisce una delle cause principali dell'insorgenza delle condizioni di anaerobiosi non desiderate.

Poiché i cumuli di materiale stabilizzato in finissaggio non hanno la capacità di produrre calore sufficiente per consentire l'evaporazione dell'acqua in eccesso derivante dalle precipitazioni atmosferiche, è buona norma sistemare la matrice su **piazzali pavimentati**, dotati di **sistema di drenaggio**.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI per la MATURAZIONE

La maturazione in piazzali all'aperto richiede, a seconda delle condizioni climatiche in cui opera la stazione di compostaggio, **tempi medio-lunghi di stazionamento (1-2 mesi)**, mentre seppur con costi di investimento maggiori, la fase di maturazione condotta in **piazzali coperti da tettoie**, evita gli inconvenienti derivanti da un andamento meteorologico eccessivamente piovoso.

È infine possibile gestire la fase di maturazione in maniera ottimale se, alla sistemazione dei cumuli in platea coperta, si abbina anche la **ventilazione della matrice stabilizzata**, mediante flusso continuo di bassi volumi d'aria, per mezzo di appositi **sistemi di diffusione realizzati sul pavimento della platea stessa**.

Operando in tali condizioni, nonostante **un incremento degli oneri di gestione** specifici per questa sezione dell'intera filiera produttiva, è possibile ottenere un compost perfettamente maturo in **2-3 settimane**.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

SISTEMI IMPIANTISTICI – TRATTAMENTI FINALI

ROTOVAGLIO

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

RISCHI AMBIENTALI - Generazione e controllo degli odori

La formazione ed il rilascio di odori costituisce uno dei punti più critici di una qualsiasi stazione di compostaggio. A questo proposito è importante conoscere le diverse situazioni che possono portare alla generazione di emissioni maleodoranti in modo da rendere possibili interventi di prevenzione e/o mitigazione sia a livello delle condizioni di processo, sia sulle caratteristiche delle strutture impiantistiche.

Le operazioni di **pre-trattamento**, rappresentano un fase molto delicata rispetto alla possibile emissione di odori. Laddove, perciò, le condizioni ambientali in cui si trova ad operare la stazione di compostaggio non diano sufficiente garanzia circa una efficiente e rapida diluizione degli odori in atmosfera, lontano da insediamenti abitativi, è consigliabile **confinare questa fase in strutture chiuse**, la cui aria interna verrà trattata prima del rilascio all'esterno.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

RISCHI AMBIENTALI - Generazione e controllo degli odori

La fase maggiormente responsabile dell'emissione di odori è quella del processo biologico.
In tale fase gli odori vengono infatti generati sia a seguito del **tipo di metabolismo microbico** prevalente all'interno della matrice in trasformazione, sia come conseguenza di **reazioni di natura strettamente chimica**.
Gli odori, inoltre, seppur dipendano, in generale, dalla presenza di composti **gassosi o volatili**, possono anche essere associati a **microparticelle solide**, costituenti le polveri.

L'instaurarsi di **condizioni anaerobiche** incrementa la formazione di composti maleodoranti quali acidi organici, mercaptani, alcooli, ammine, idrogeno solforato ed altre sostanze odorigene

Sebbene l'insorgenza di emissioni maleodoranti sia di solito associata al crearsi di condizioni anossiche all'interno della matrice in compostaggio, anche la corretta evoluzione delle reazioni di stabilizzazione, secondo le vie della degradazione aerobica, genera odori. Ciò è particolarmente vero per quel che riguarda la **volatilizzazione dell'ammoniaca**. La decomposizione delle proteine porta infatti alla formazione di ammoniaca o di ammonio attraverso il processo noto come ammonificazione. La tensione di vapore dell'ammoniaca (NH3) è bassa e, di conseguenza questa volatilizza facilmente anche a basse temperature.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

RISCHI AMBIENTALI - Generazione e controllo degli odori

Tabella - Composti ritenuti maggiormente responsabili delle emissioni di odori presso gli impianti di compostaggio

Composti contenenti zolfo	
Idrogeno solforato	Dimetil disolfuro
Ossisolfuro di carbonio	Dimetil trisolfuro
Disolfuro di carbonio	Metantiolo
Dimetil solfuro	Etantiolo
Composti contenenti azoto	
Ammoniaca	Trimetilamina
Aminometano	3-metilindolo (scatolo)
Dimetilamina	
Acidi grassi volatili	
Acido formico	Acido butirrico
Acido acetico	Acido valerico
Acido propionico	Acido iso-valerico
Chetoni	
Propanone (acetone)	2-pentanone
Butanone	
Altri composti	
Benzothioazolo	Fenolo
Etanale (acetaldeide)	

Fonte: Williams & Miller, 1992a.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

RISCHI AMBIENTALI - Generazione e controllo degli odori

Sistemi di prevenzione basati sulla gestione della filiera di trasformazione

→ **riduzione dei tempi di stazionamento delle matrici in ingresso sui piazzali** di scarico e di stoccaggio transitorio.

→ conferimento del materiale all'impianto **senza creare accumuli** di matrice fresca che non sia immediatamente preparata per la fase di compostaggio attivo.

→ un pronto allestimento dei cumuli ovvero il rapido trasferimento della biomassa substrato nell'eventuale bioreattore;

→ la verifica che la matrice in fase di compostaggio attivo sia nelle **condizioni ottimali di aerazione**, tali da evitare il formarsi di zone anaerobiche;

→ l'attuazione degli eventuali turni di **rivoltamento** della biomassa substrato in coincidenza con **venti favorevoli** alla rapida diluizione e dispersione delle emissioni odorigene in direzione opposta a quella degli insediamenti civili;

→ assicurare, laddove il compostaggio avvenga in **cumuli statici**, la copertura degli stessi con uno strato superficiale (5-10 cm) di compost maturo;

→ **evitare** la formazione di **ristagni di percolato** alla base dei cumuli o al fondo del bioreattore;

→il confinamento della fase attiva di compostaggio in **strutture chiuse**, la cui aria possa essere captata e convogliata in speciali apparati di trattamento dei composti odorigeni.

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

RISCHI AMBIENTALI - Generazione e controllo degli odori

Le principali tipologie di apparati per l'abbattimento delle emissioni odorigene, oggi adottate presso le stazioni di compostaggio, sono rappresentate essenzialmente dai ***biofiltri*** **e dalle** ***torri di lavaggio*** **(*scrubbers ad umido*)**. Per il trattamento delle emissioni maleodoranti sono stati proposti anche l'*adsorbimento* su carbone attivo od altri materiali ad elevata capacità di trattenimento o la *combustione* dei composti odorigeni. Questi ultimi sistemi, benché risultati molto efficaci, con rese di abbattimento intorno al 99%, non hanno tuttavia trovato pratica applicazione a causa degli eccessivi costi complessivi di trattamento.

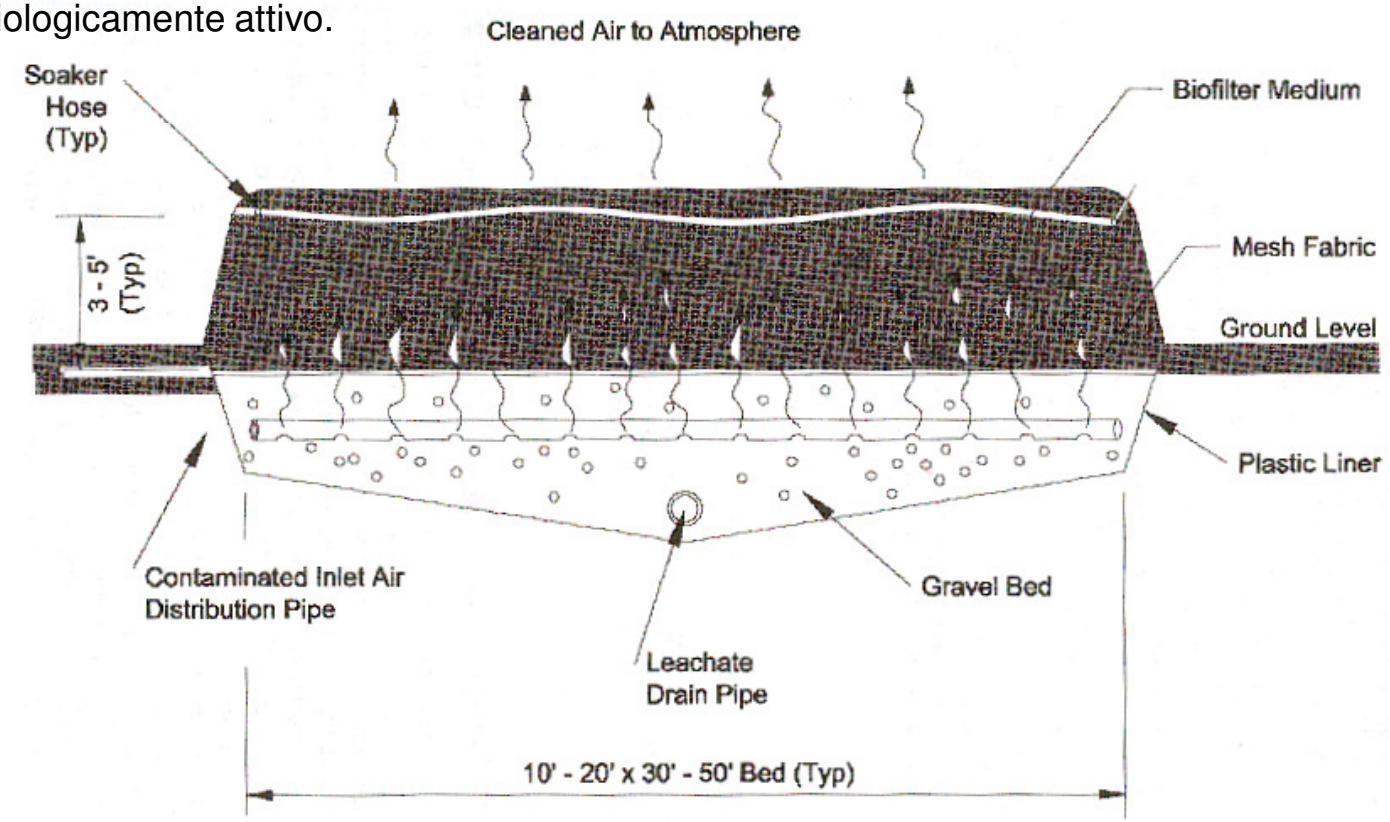
TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

RISCHI AMBIENTALI - Generazione e controllo degli odori - Biofiltro

TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

RISCHI AMBIENTALI - Generazione e controllo degli odori - BIOFILTRI

Lo schema generale di un apparato per biofiltrazione consiste di un sistema di adduzione dell'aria contenente i composti odorigeni ad una unità riempita con un **substrato particolato filtrante costituito da compost maturo, terreno o anche da materiale inerte che consenta la formazione di uno strato di biomassa microbica attiva (biofilm)** sulla superficie delle particelle.
Il flusso da trattare viene finemente distribuito attraverso il mezzo filtrante mediante una rete di tubi dotati di piccoli fori di diffusione posta al fondo del biofiltro. Per evitare l'occlusione dei fori da parte della sovrastante colonna di matrice filtrante, la rete di tubi diffusori è, di solito, immersa in uno strato di ghiaia o altro materiale poroso, dotato di resistenza meccanica allo schiacciamento.
L'aria carica di odori in entrata al biofiltro viene generalmente **umidificata** in modo da evitare la disidratazione del substrato biologicamente attivo.



TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

RISCHI AMBIENTALI - Generazione e controllo degli odori - BIOFILTRI

I composti gassosi responsabili degli odori vengono adsorbiti sulla superficie delle particelle del biofiltro dove vengono degradati dai microrganismi colonizzatori della superficie.

Questi microrganismi ossidano i composti odorigeni in anidride carbonica, acqua e forme minerali inodori di azoto e zolfo, prima che il flusso d'aria fuoriesca dal biofiltro

Oltre alla necessaria presenza dei catalizzatori biologici (i microorganismi), la biofiltrazione si avvale anche dell'adsorbimento e dell'assorbimento.

Tabella - Tassi di rimozione relativi ad alcuni composti odorigeni, passati attraverso biofiltri contenenti matrici filtranti differenti

Composto	Tasso massimo di rimozione
Metilformiato	35 g/kg p.s. di mezzo[1]/die
Idrogeno solforato	5 g S/ kg p.s. di mezzo[1]/die
Butilacetato	2,14 g/ kg p.s. di torba/die
Butanolo	2,41 g/ kg p.s. di torba/die
n-butanolo	2,40 g/ kg p.s. di compost/die
Etilacetato	2,03 g/ kg p.s. di torba/die
Toluene	1,58 g/ kg p.s. di torba/die
Metanolo	1,35 g/ kg p.s. di mezzo[1]/die
Metantiolo	0,9 g S/ kg p.s. di torba/die
Dimetil disolfuro	0,68 g S/ kg p.s. di torba/die
Dimetil solfuro	0,38 g S/ kg p.s. di torba/die
Ammoniaca	0,16 g N/ kg p.s. di torba/die

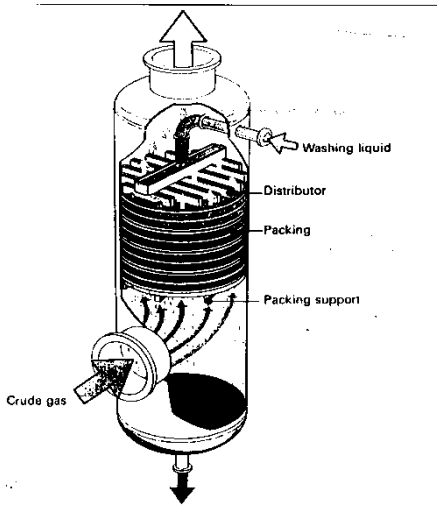
[1] non altrimenti specificato, con densità apparente di 200 Kg/m³.
p.s., peso secco: Williams & Miller, 1992a.

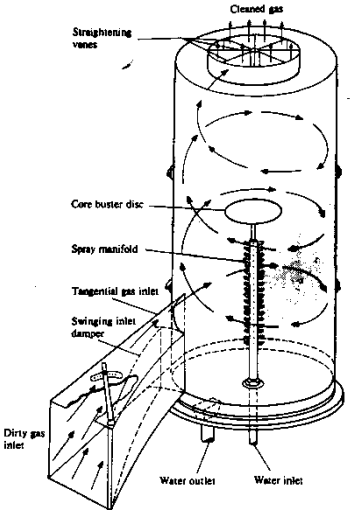
TRATTAMENTI BIOLOGICI AEROBICI

RISCHI AMBIENTALI - Generazione e controllo degli odori - SCRUBBER

Gli ***scrubbers* ad umido** si basano sull'impiego di soluzioni di lavaggio per rimuovere i composti odorigeni presenti nel flusso gassoso, mediante assorbimento e successiva ossidazione di queste sostanze.
Esiste una vasta gamma di *scrubbers*. Nei sistemi costituiti dalle cosiddette **torri impaccate**, il liquido di lavaggio viene ripartito in film sottile che si muove lentamente sulla superficie del mezzo di riempimento. L'aria da trattare è, di solito, introdotta dal fondo della torre e fluisce verso l'alto attraverso il materiale di riempimento, in controcorrente rispetto alla soluzione di lavaggio. Quest'ultima viene normalmente ricircolata per minimizzarne il consumo.

Negli *scrubbers* cosiddetti **a nebbia**, invece, la soluzione di lavaggio è atomizzata in goccioline finissime le quali sono disperse, all'interno di una camera di contatto, attraverso il flusso d'aria oggetto di trattamento. Le goccioline caricatesi dei composti odorigeni precipitano al fondo della camera, dalla quale il liquido di lavaggio accumulatosi viene continuamente rimosso.
In taluni casi, sono stati proposti i cosiddetti ***scrubbers* a stadi multipli**, nei quali il flusso gassoso da trattare viene sottoposto a lavaggi con soluzioni diverse, mirate all'abbattimento differenziato dei vari composti odorigeni.

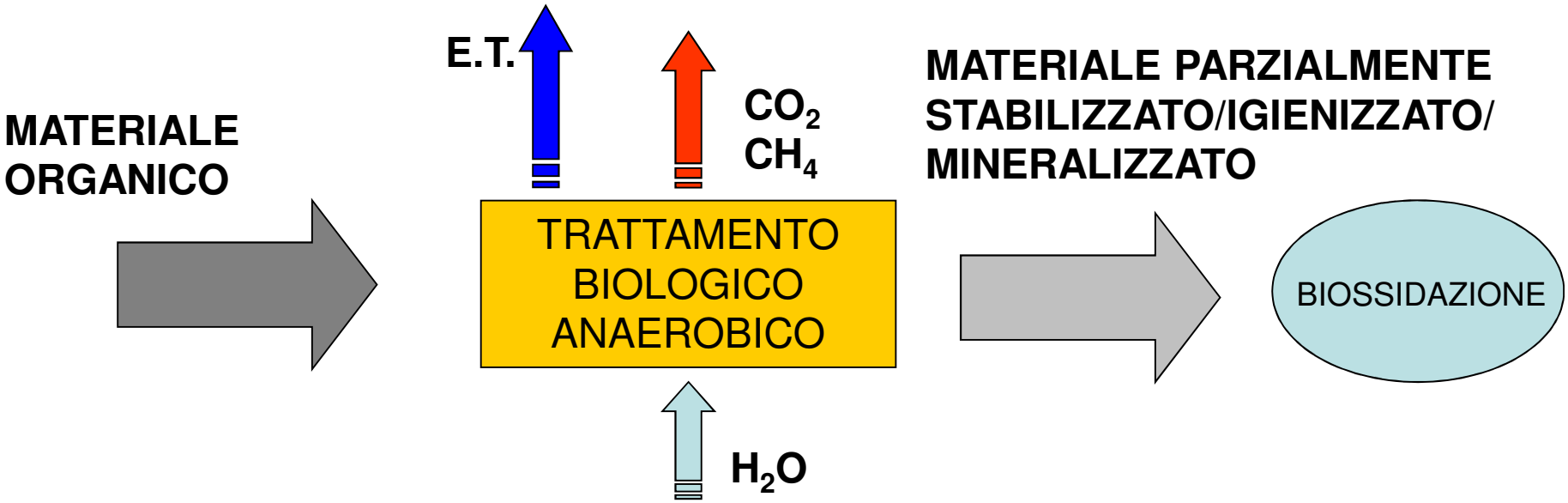




TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

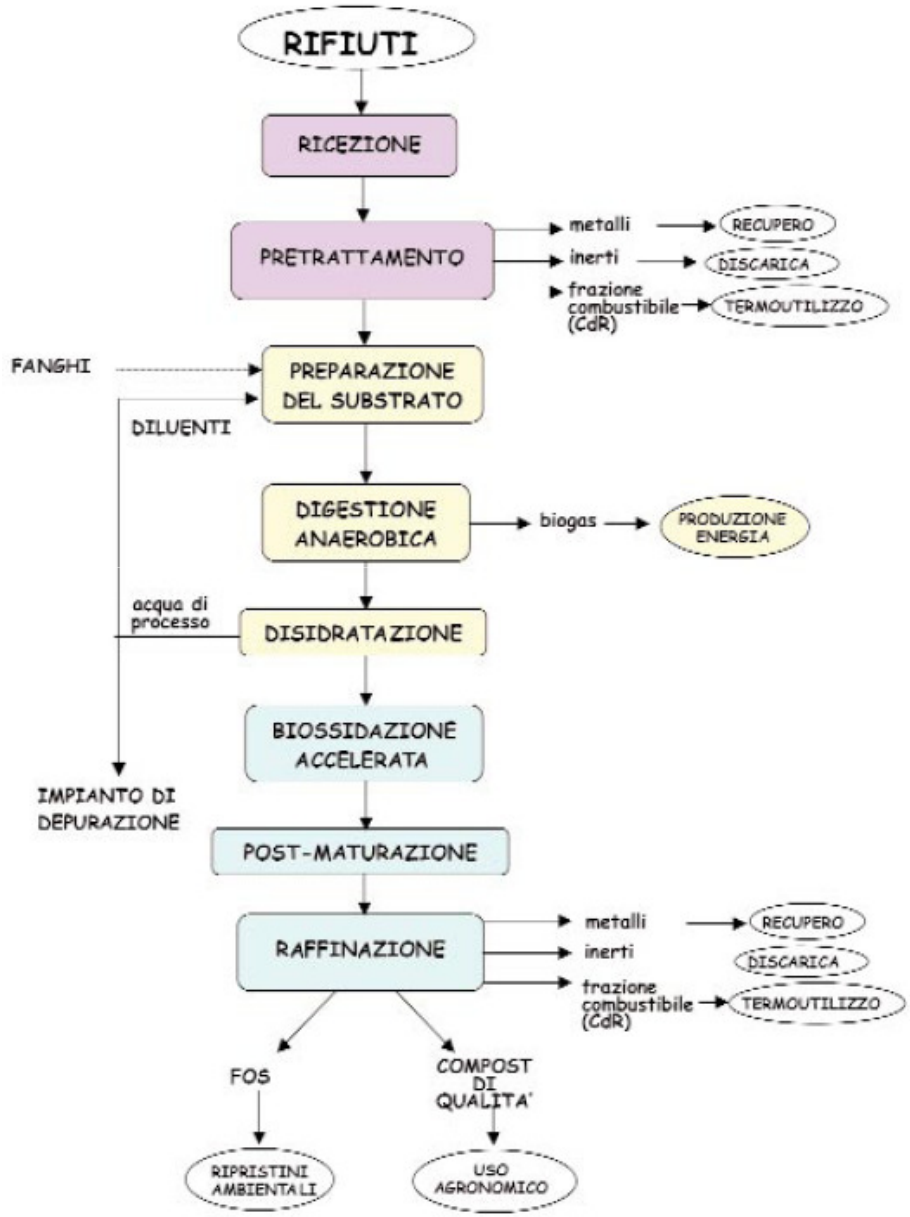
I processi di trattamento biologico anaerobico dei rifiuti consistono nella degradazione biologica della frazione organica del rifiuto da parte di microrganismi che si sviluppano e vivono in un ambiente in cui è assente ossigeno.

Lo scopo del processo è la riduzione di massa, la mineralizzazione delle componenti organiche maggiormente degradabili e l'igienizzazione.



frazione organica + H_2O ⇨ crescita cellulare + CO_2 + CH_4 […+ NH_3 + H_2S+…]

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI



TRATTAMENTO COMBINATO:

→ ANAEROBICO

→ AEROBICO

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Stato dell'arte dell'applicazione industriale della digestione anaerobica in Europa

La digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti urbani è ritenuta una tecnologia ormai divenuta, in ambito europeo, nota ed affidabile.

Considerando solamente impianti europei che siano divenuti operativi nell'arco degli ultimi 10 anni e che abbiano potenzialità superiore alle 3.000 tonnellate/anno, è stato evidenziato che sono attualmente operanti in Europa 53 impianti, per una potenzialità di trattamento totale di 1.037.000 tonnellate/anno.

Di questi impianti 30 operano in Germania e gli altri per lo più in Olanda, Belgio, Svizzera e Francia.

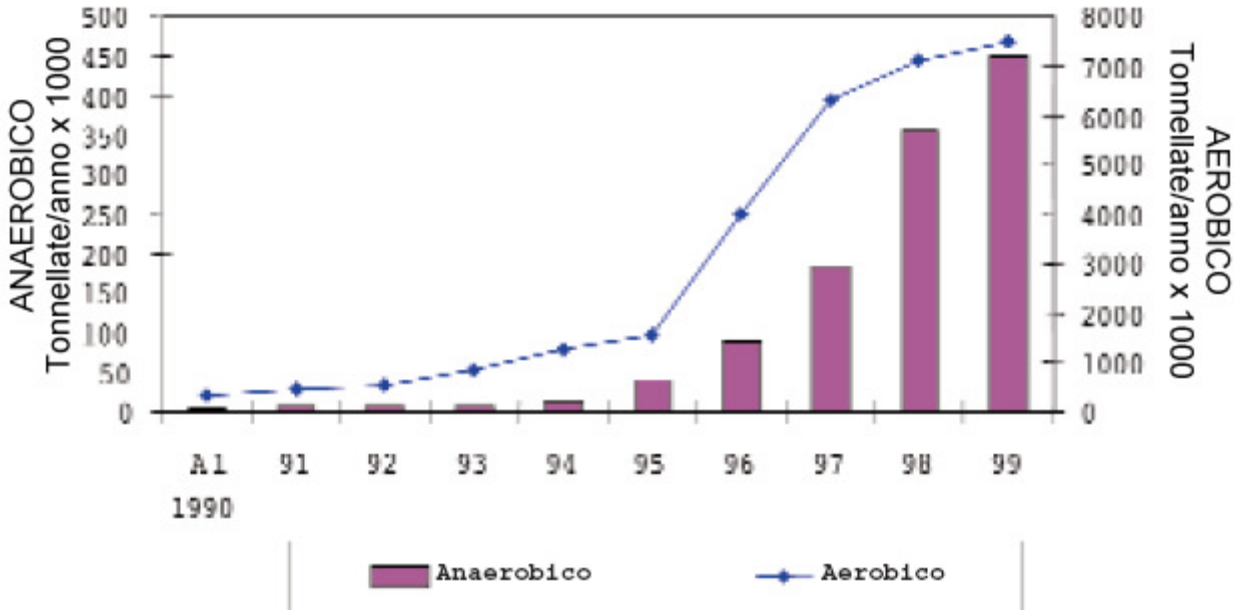
Occorre però evidenziare che gli impianti tedeschi trattano fino a 450.000 tonnellate/anno (mediamente 15.000 tonnellate/anno) mentre gli impianti costruiti in Olanda, Belgio, e Francia trattano mediamente 30.000-50.000 tonnellate/anno. I nove impianti realizzati in Svizzera sono invece dedicati al servizio di piccole comunità e trattano complessivamente 78.500 tonnellate/anno.

Tutto ciò mette in evidenza, tra l'altro, come questo tipo di tecnologia abbia trovato applicazione sia nel caso del servizio a grandi bacini di utenza sia nel caso di bacini di medio-piccole dimensioni.

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Stato dell'arte dell'applicazione industriale della digestione anaerobica in Europa

E' importante sottolineare, da subito, come la digestione anaerobica ed il compostaggio non siano in realtà tecnologie in contrapposizione, ma anzi, perfettamente integrabili, secondo un processo di trattamento complessivo che preveda dapprima la degradazione della frazione putrescibile con recupero del biogas (e quindi di energia), e successivamente, la stabilizzazione aerobica del materiale residuo al fine di ottenere un prodotto finale adatto all'uso agricolo.



TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Confronto aerobico/anaerobico

Principali caratteristiche dei processi anaerobici ed aerobici a confronto

Parametro	Processo anaerobico	Processo aerobico
Produzione di Biogas, m^3/t^*	100 ÷ 200	-
Solidi residui, su base TS, %	50 ÷ 60	50
Produzione di compost, kg/t*	200 ÷ 300	300 ÷ 400
Produzione di energia, kWh/t*	100 ÷ 250	-70 ÷ -90
Acque reflue, m^3/t^*	1 ÷ 0.2	-
Aria per fermentazione, m^3/t^*	-	3600 ÷ 10000
Aria per stabilizzazione, m^3/t^*	800 ÷ 1700**	800 ÷ 1700

(*) per tonnellata di materiale trattato; (**) si è considerato lo stesso consumo per entrambi i processi

Confronto tra il processo anaerobico con post-compostaggio ed aerobico di stabilizzazione della frazione organica di RU.

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Fasi del processo

L'attività biologica anaerobica è stata evidenziata in un ampio intervallo di temperatura: tra –5 e + 70 °C.

Esistono differenti specie di microrganismi classificabili in base all'intervallo termico ottimale di crescita:

- psicrofili, con temperature inferiori a 20 °C;
- mesofili, con temperature comprese tra i 20 °C ed i 40 °C;
- termofili, con temperature superiori ai 45 °C.

La conversione di substrati organici complessi in ambiente anaerobico avviene attraverso una catena di processi biologici diversi.

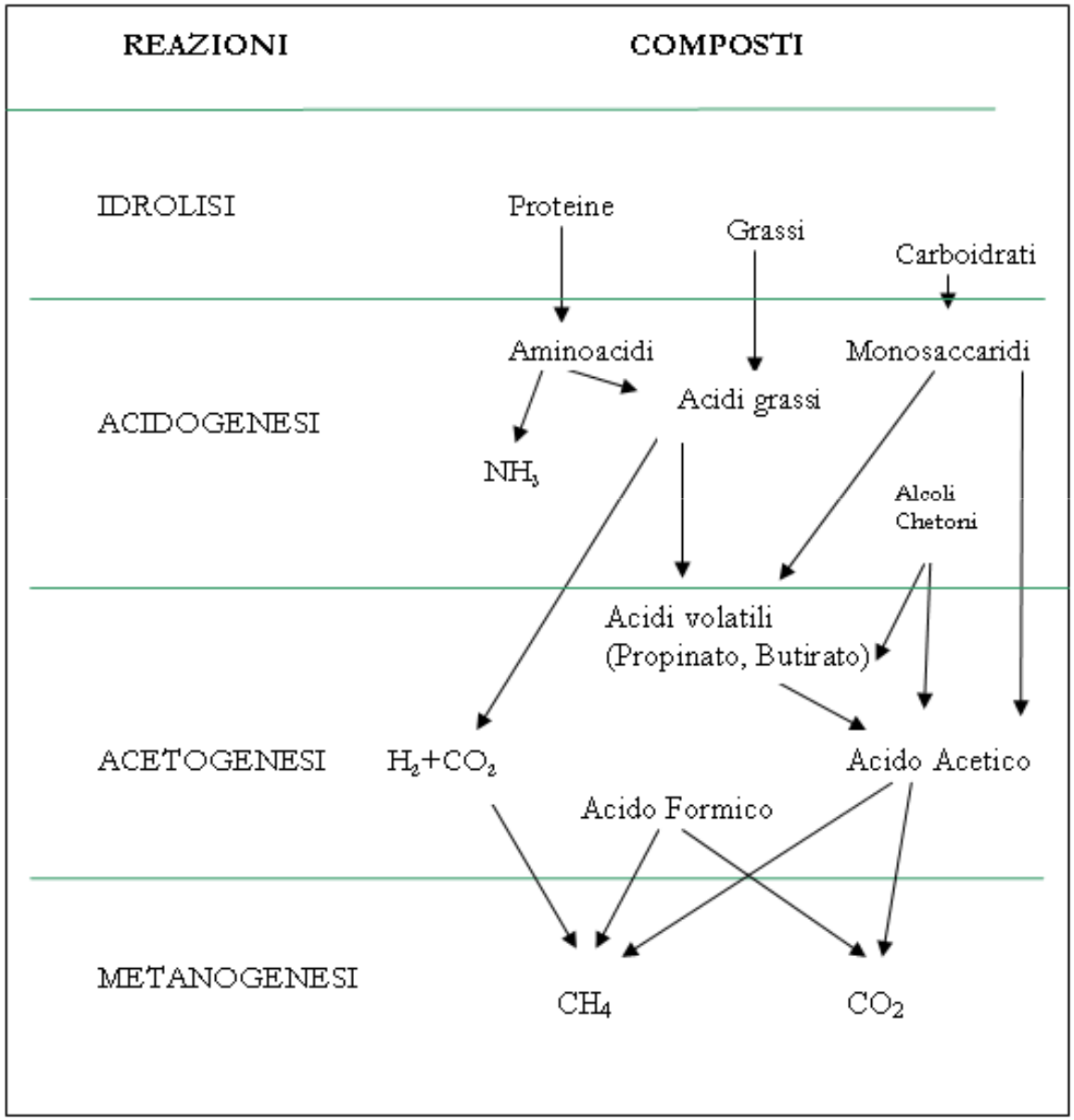
Ad essa partecipano almeno tre gruppi metabolici distinti di microrganismi che si differenziano sia per i substrati che per i prodotti del loro metabolismo.

Nel corso del processo biodegradativo si hanno in particolare quattro stadi:

- idrolisi
- acidogenesi
- acetogenesi
- metanogenesi

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Fasi del processo



TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Fasi del processo

Il processo biodegradativo si compone delle seguenti fasi:

►una prima fase di idrolisi dei substrati complessi accompagnata da acidificazione con formazione di acidi grassi volatili, chetoni ed alcoli;

►una successiva fase acetogenica, in cui, a partire dagli acidi grassi, si ha la formazione di acido acetico, acido formico, biossido di carbonio ed idrogeno molecolare,

►ed, infine, un'ultima fase in cui, a partire dai prodotti della fase precedente, si osserva la metanizzazione, cioè la formazione di metano a partire dall'acido acetico o attraverso la riduzione del biossido di carbonio utilizzando l'idrogeno come co-substrato. In minor misura si ha la formazione di metano a partire dall'acido formico.

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Fasi del processo - Idrolisi ed acidogenesi

In questa prima fase, per intervento di diversi gruppi batterici, si ha la degradazione di substrati organici complessi particolati o solubili, quali proteine, grassi e carboidrati, con formazione di composti semplici, quali aminoacidi, acidi grassi e monosaccaridi in forma solubile.

Contestualmente all'idrolisi del materiale organico complesso, particolato o solubile, avviene il processo fermentativo acidogenico in cui i batteri fermentativi degradano i monomeri ed oligomeri organici, zuccheri, acidi grassi ed aminoacidi, producendo acidi grassi volatili, per lo più a catena corta quali il propionato ed il butirrato.

Viene inoltre prodotto ammonio come sottoprodotto (dalla fermentazione degli aminoacidi).

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Fasi del processo - Acetogenesi

A partire dai substrati formatisi nel corso della fase di idrolisi ed acidificazione (acidi volatili, essenzialmente propionato e butirrato, ma anche alcoli) i batteri acetogeni producono acido acetico, acido formico, CO_2 ed H_2.

Fasi del processo - Metanogenesi

La produzione di CH_4 rappresenta la conclusione della catena trofica anaerobica.

Il metano infatti è l'unico composto non reattivo nell'intero processo di digestione anaerobica e può, pertanto, essere considerato il prodotto finale dell'intero processo.

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Fasi del processo - Metanogenesi

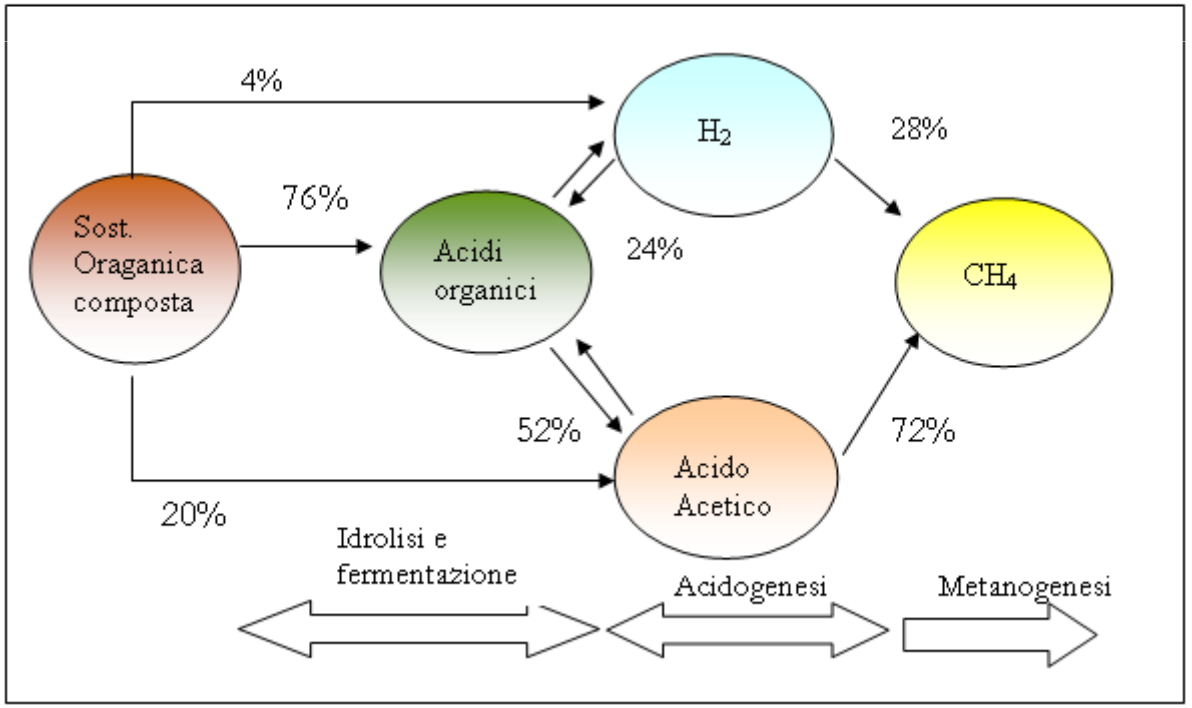
La produzione del metano può avvenire essenzialmente attraverso due differenti vie di reazioni:

►una via prevede la metanogenesi ad opera dei batteri idrogenotrofi, che operano l'ossidazione anaerobica dell'idrogeno,

►mentre la seconda via, la cosiddetta via acetoclastica, prevede la dissociazione anaerobica dell'acido acetico con formazione di metano e biossido di carbonio.

Il secondo meccanismo determina la maggior parte della produzione di metano nel complesso del processo.

La figura quantifica percentualmente la distribuzione nei diversi cammini metabolici coinvolti nel processo di digestione.



TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Parametri di controllo del processo

I principali parametri che permettono di dimensionare, valutare e gestire il processo di digestione anaerobica si possono suddividere in due categorie:

► parametri di operazione del reattore:

definiscono l'esercizio in termini di tempi di permanenza della massa alimentata nel reattore, di concentrazione dei microrganismi, di rese di produzione di biogas in relazione al volume del reattore ed alle caratteristiche del substrato trattato.

► parametri di stabilità dei processi biologici:

obiettivo è il mantenimento di condizioni operative ottimali e stabili.

Per la digestione anaerobica la fase controllante l'intero processo, cioè la metanogenesi, risulta particolarmente sensibile alle variazioni ambientali del mezzo di reazione. Di particolare importanza risultano parametri quali il pH, la concentrazione di acidi grassi volatili (VFA), l'alcalinità, il rapporto tra acidi grassi volatili ed alcalinità, la produzione e composizione percentuale del biogas, la temperatura

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Parametri di controllo del processo – parametri di operazione del reattore

CARATTERIZZAZIONE DEL SUBSTRATO - Il substrato è generalmente definito, nell'ambito dei processi di digestione anaerobica, in termini di solidi totali (TS), di solidi totali volatili (TVS), di domanda chimica di ossigeno (COD) o, in alternativa a quest'ultima, di domanda biologica di ossigeno a 5 giorni (BOD_5).

TS: solidi totali, ossia il contenuto in sostanza secca di un campione, determinato per essiccamento in stufa a 105°C per 48 ore. Questi rappresentano, in prima approssimazione, la somma della frazione organica e di quella inerte del substrato.

TVS: solidi totali volatili, cioè la frazione di sostanza secca che risulta volatilizzata per combustione a 600°C per 24 ore. Questi rappresentano, in prima approssimazione la frazione organica della sostanza secca. La differenza dei valori di TS e TVS rappresenta la frazione inerte, costituita per lo più, da composti inorganici.

COD: domanda chimica di ossigeno. Fornisce una misura della sostanza organica ossidabile presente nel campione e fornisce, indirettamente, il grado di ossidazione della sostanza organica, e quindi l'ulteriore livello di ossidabilità del substrato trattato. Tale valore viene espresso in termini di concentrazione di ossigeno.

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Parametri di controllo del processo – parametri di operazione del reattore

GESTIONE REATTORE:

- tempo medio di residenza idraulico (HRT), [giorni];
- tempo medio di residenza dei solidi, in prima approssimazione, o dei microrganismi (SRT) [giorni];
- carico organico riferito al volume del reattore (OLR) [kg substrato/m^3 reattore giorno];
- produzione specifica di gas (SGP) [m^3 biogas/kg substrato alimentato];
- velocità di produzione del biogas (GPR) [m^3 biogas/m^3 reattore giorno];
- efficienza di rimozione del substrato [%]
- Miscelazione

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Parametri di controllo del processo – parametri di operazione del reattore

Miscelazione

Il processo di digestione anaerobica risulta essere abbastanza instabile, per quanto riguarda gli squilibri locali, generati per esempio dalla presenza di sostanze tossiche, si rivela di grande importanza la miscelazione.

All'interno di un digestore la miscelazione ha il compito di:

- favorire il contatto tra batteri e substrato
- omogeneizzare le temperature
- ottimizzare il rilascio di biogas
- evitare la decantazione delle frazioni più pesanti.

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Parametri di controllo del processo – parametri di operazione del reattore

Tipo di miscelazione	Vantaggi	Svantaggi
Tutti i sistemi	Aumento del grado di stabilizzazione del fango	Corrosione dei componenti metallici. Incrostazioni
Lance montate sulla copertura	Bassa manutenzione e minore richiesta di pulizia rispetto ai diffusori sul fondo. Efficacia contro la formazione di schiume	Corrosione. Occlusione delle lance, accumulo di solidi sul fondo
Diffusori montati sul fondo	Miglior movimento dei depositi sul fondo rispetto alle lance montate sulla copertura.	Corrosione. Formazione di schiume. Miscelamento non completo. Occlusione dei diffusori.
Gas lifter	Migliore miscelazione. Migliore movimento dei depositi sul fondo rispetto alle lance montate sulla copertura. Minore richiesta di energia.	Corrosione. Il lifter interferisce con la pulizia del digestore. Formazione di schiume. Occlusione delle lance.
Pistone per gas	Buona efficacia di miscelazione	Corrosione. Sistema montato internamente. I pistoni interferiscono con la pulizia del digestore. Occlusione del pistone

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Parametri di controllo del processo – parametri di operazione del reattore

Tipo di miscelazione	Vantaggi	Svantaggi
Turbina a bassa velocità	Buona miscelazione	Usura delle eliche e dell'asta. Rottura del cuscinetto
Mixer a bassa velocità	Rottura della crosta superficiale	Non è progettato per miscelare l'intero digestore. Incrostazioni sulle pale
Tubi di tiraggio interni	Buona miscelazione. Minima formazione di schiume.	Sensibilità al livello liquido. Corrosione ed incrostazioni.
Tubi di tiraggio esterni	Buona miscelazione. Minima formazione di schiume.	Sensibilità al livello liquido. Corrosione ed incrostazioni.
Pompe	Conoscenza della quantità da miscelare. Ricircolo della crosta superficiale. Il fango depositato può essere ricircolato. Manutenzione più semplice rispetto ai compressori.	Incrostazione delle pale. Occlusione. Rottura dei cuscinetti.

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Parametri di controllo del processo – parametri di stabilità dei processi biologici

STABILITA' DEL REATTORE:

- pH
- Alcalinità
- Acidi grassi
- Produzione e composizione del biogas.
- Temperatura

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Parametri di controllo del processo – parametri di stabilità dei processi biologici - pH

Il pH fornisce un'indicazione della stabilità del mezzo di reazione, in quanto una sua variazione è associata sia alla capacità tamponante del sistema da parte del mezzo di reazione che a variazioni dell'equilibrio tra le specie che partecipano alla catena trofica dei microrganismi coinvolti nel processo.

Per valori di pH compresi tra **6,5 e 7,5** il processo di digestione è generalmente considerato

stabile.

Il valore del pH in un digestore è determinato essenzialmente dalla **presenza di CO_2 nel mezzo liquido, e quindi dalla sua pressione parziale nel biogas e dai valori di concentrazioni degli acidi grassi volatili e dell'ammoniaca**.

Occorre rilevare che questo parametro è in grado di indicare condizioni di squilibrio del sistema, ma solo con un certo ritardo rispetto all'evoluzione dell'effetto tampone del mezzo.

Infatti la variazione di pH appare evidente quando ormai il bicarbonato ha terminato la sua attività tamponante. Quando, cioè, questo è stato completamente consumato secondo le reazioni di equilibrio di seguito riportate:

$$H\text{-}R \longleftrightarrow R^- + H^+ + NaHCO3 \longleftrightarrow NaR + H2O + CO2$$

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Parametri di controllo del processo – parametri di stabilità dei processi biologici – Produzione e composizione biogas

Il monitoraggio della quantità e della composizione (almeno in termini di metano e biossido di carbonio) del biogas è di fondamentale importanza per il controllo della stabilità del processo di digestione anaerobica.

Se il reattore sta operando in condizioni di stabilità la produzione e la composizione del biogas risultano costanti.

In particolare si potranno osservare tre diverse situazioni:

1. una bassa concentrazione di VFA, unitamente ad una elevata produzione di biogas, in cui la CO2 si attesti su valori bassi compresi tra il 25-33%, indica che il processo è stabile e si ha una buona capacità di trasferimento dai batteri acidificanti a quelli metanigeni;

2. concentrazioni crescenti nel tempo dei VFA, unite ad una produzione di biogas in cui la presenza relativa della CO2 cresca nel tempo (valori superiori ai 2/3 del biogas prodotto) indicano che le popolazioni acidificanti stanno prendendo il sopravvento sui batteri metanigeni e si ha quindi un progressivo accumulo di VFA nel mezzo di reazione;

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Parametri di controllo del processo

Parametri di gestione del reattore/stabilità dei processi biologici

Temperatura

Dato che i processi di degradazione anaerobica sono determinati dall'attività di popolazioni microbiche eterogenee l'effetto delle variazioni di temperatura è particolarmente importante.

Variazioni di soli 2-3 °C possono influire sulle prestazioni generali del processo, specialmente in

prossimità dei limiti dell'intervallo operativo.

Ne deriva la necessità di controllare con particolare accuratezza i sistemi di controllo per il funzionamento dei dispositivi di riscaldamento. E' stato riscontrato che i processi di digestione anaerobica in regime mesofilo mostrano le migliori produzioni di biogas in intervalli di temperatura compresi tra i 30 ed i 35 °C, mentre nel caso di processi termofili l'intervallo si allarga e varia tra i 40 ed i 60 °C.

In generale si può osservare che, all'interno dell'intervallo ottimale, la produzione di biogas e la rimozione di substrato incrementano al crescere della temperatura.

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Parametri di controllo del processo

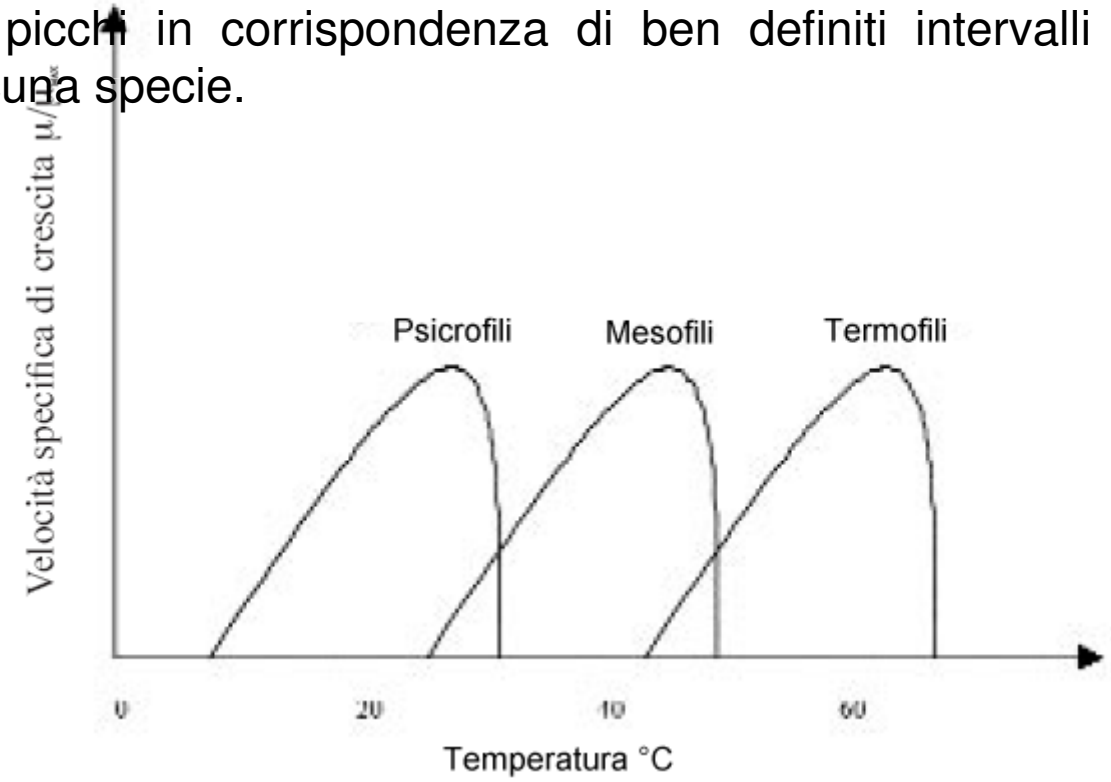
Parametri di gestione del reattore/stabilità dei processi biologici

Temperatura

Dal momento che la velocità di reazione è il fenomeno che governa il processo, la temperatura diviene un parametro estremamente importante.

Quando si passa da un regime di temperatura ad un altro si osserva un vero e proprio cambiamento nella composizione della comunità batterica. Infatti, come illustrato in figura gli andamenti di sviluppo delle diverse popolazioni batteriche non sono monotoni ma presentano dei picchi in corrispondenza di ben definiti intervalli di temperatura, differenti per ciascuna specie.

Una variazione di temperatura, all'interno di un certo intervallo, e, quindi, per una data popolazione, determina una variazione nelle velocità di reazione.

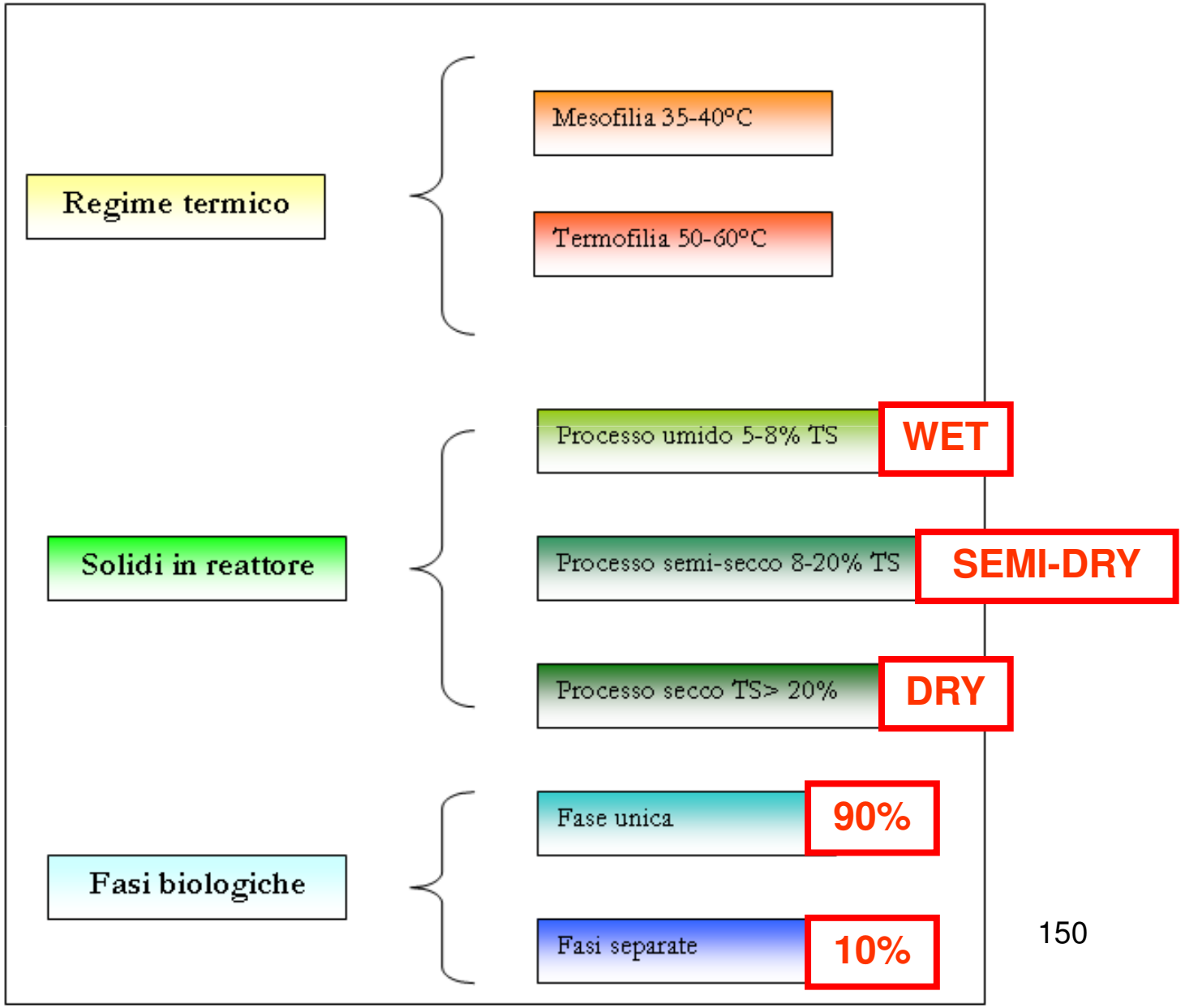


TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Tipologie di processi di digestione anaerobica

I processi anaerobici possono essere classificati in base al:

- regime termico del reattore (mesofilia 35°C o termofilia 55°C)
- tenore in solidi nel rifiuto trattato
- numero di fasi presenti nel processo (una o due)



TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

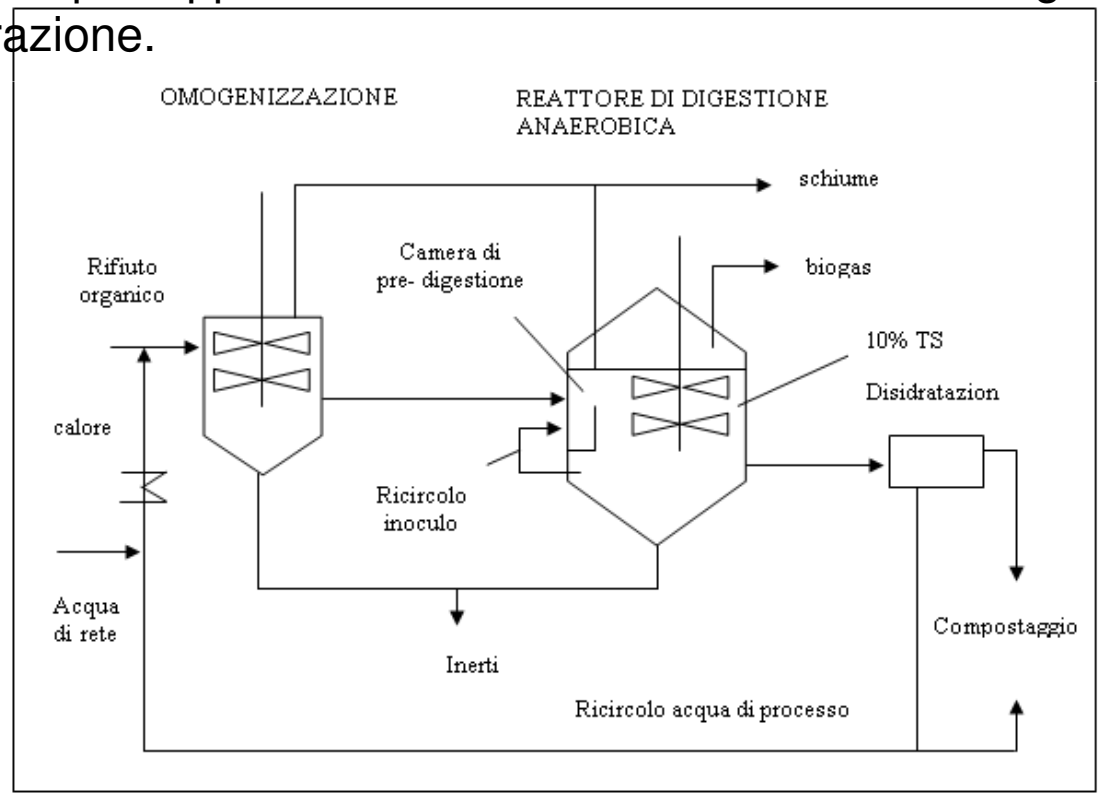
Tipologie di processi di digestione anaerobica - WET

Questo processo è stato il primo ad essere utilizzato nel trattamento della frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU) dal momento che sfruttava le conoscenze acquisite in decenni di attività nel processo di digestione anaerobica dei fanghi di depurazione delle acque reflue.

Nei processi di tipo wet il rifiuto di partenza viene opportunamente trattato e diluito al fine di raggiungere un tenore in solidi totali inferiore al 10% attraverso il ricorso a diluizione con acqua così da poter poi utilizzare un classico reattore completamente miscelato del tipo applicato nella stabilizzazione dei fanghi biologici negli impianti di depurazione.

In generale, il processo prevede, dopo la fase di pre-trattamento del rifiuto (finalizzato a rimuovere le parti più grossolane che potrebbero danneggiare gli organi meccanici), uno stadio di miscelazione in cui si ottiene una miscela con caratteristiche omogenee e l'opportuno contenuto in solidi.

La diluizione può avvenire tramite aggiunta di acqua di rete



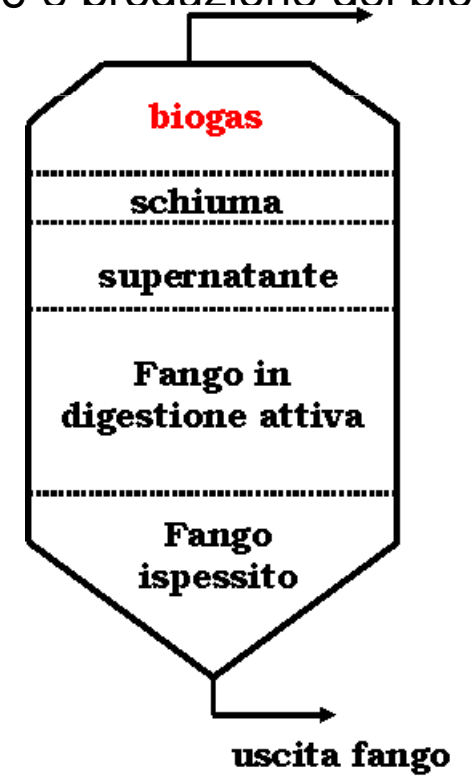
TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Tipologie di processi di digestione anaerobica - WET

A causa delle caratteristiche fisiche dei rifiuti trattati non è solitamente possibile ottenere una miscela omogenea e pertanto si osserveranno all'interno del reattore tre fasi separate, caratterizzate da distinte densità.

La frazione più pesante tenderà ad accumularsi sul fondo del reattore e può determinare danni nel sistema di miscelazione se il rifiuto trattato non è sufficientemente pulito, mentre materiali leggeri e schiume si accumulano nella parte superiore del reattore. La fase a densità intermedia è quella in cui avvengono per lo più le effettive reazioni di degradazione e produzione del biogas.

Nella gestione di impianto sono generalmente previste saltuarie rimozioni sia dello strato più pesante, presente sul fondo del reattore, che di quello leggero.



TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Tipologie di processi di digestione anaerobica - WET

Criterio	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	Buona conoscenza ed esperienza nel campo del processo. Applicabilità in co-digestione con rifiuti liquidi ad alto contenuto in sostanza organica	Corto-circuitazione idraulica;
		fasi separate di materiale galleggiante e pesante;
		abrasione delle parti meccaniche dovuta alla presenza di sabbie e inerti;
		pre-trattamenti del rifiuto
Biologico	Diluizione dei picchi di concentrazione di substrato e/o sostanze tossiche influenti nel reattore	Forte sensibilità a carichi organici variabili;
		perdita di sostanza volatile biodegradabile nel corso dei pre-trattamenti;
Economico ed ambientale	Spese ridotte per i sistemi di pompaggio e miscelazione, ampliamente diffusi sul mercato	Elevati costi di investimento a causa dei macchinari per: i pre-trattamenti per i volumi dei reattori
		Produzione di elevate quantità di acque di processo

Uno dei problemi che può essere connesso con la digestione anaerobica ad umido, consiste nella corto-circuitazione idraulica del reattore: il flusso di materiale entrante, non perfettamente miscelato con il materiale già presente nel reattore, fuoriesce con tempi di ritenzione ridotti rispetto a quelli previsti da progetto. Ciò, oltre a determinare una minore degradazione del substrato trattato, e quindi una minor produzione di biogas, può determinare problemi di igienizzazione dei fanghi effluenti. Per questo motivo alcuni brevetti prevedono uno step di pastorizzazione dell'effluente dal reattore di digestione.

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Tipologie di processi di digestione anaerobica - WET

Parametro di processo	Intervallo
Solidi nel rifiuto trattato, %TS	Fino al 15
Carico organico, kgTVS/m^3d	2-4, fino a 6
Tempo di ritenzione idraulica, d	10-15, fino a 30
Rese del processo	
Produzione biogas, m^3/t rifiuto	100-150
Produzione specifica di biogas, m^3/kgTVS	0.4-0.5
Velocità di produzione di biogas, m^3/m^3d	5-6
Contenuto di metano, %CH_4	50-70
Riduzione della sostanza volatile, %	50-60, fino a 70

Intervalli tipici per i valori dei parametri di processo e le rese dei processi wet

Applicazioni industriali
Processo BIMA
Processo LINDE
Processo WAASA
Processo WABIO

Non è attualmente ancora chiaro quale sia il fenomeno che limita la possibilità di applicare carichi organici maggiori nei processi ad umido. Una possibile spiegazione consiste nella **concentrazione della biomassa attiva nel reattore, che sarebbe troppo bassa per operare al meglio**.
Altre spiegazioni chiamano in causa la velocità di trasferimento di massa dei nutrienti oppure l'accumulo di sostanze inibenti come ad esempio l'ammoniaca o gli acidi grassi volatili a catena corta.
Qualora i digestori vengano alimentati con carichi organici superiori si osserva subito una diminuzione nella produzione del biogas. Per questo motivo si ritiene che la più valida delle spiegazioni sia la presenza/formazione di **sostanze inibenti nel reattore**, conseguente appunto all'incremento dei carichi da trattare.
E' chiaro che reattori in cui la biomassa è totalmente dispersa in un mezzo liquido (reattori completamente miscelati, CSTR) sono particolarmente soggetti a problemi di inibizione, dal momento che biomassa e sostanze inibenti sono in intimo contatto. Per contro, occorre evidenziare che la situazione può essere facilmente ricondotta alla normalità per semplice aggiunta di acqua e conseguente diluizione

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Tipologie di processi di digestione anaerobica – SEMI-DRY

Questo tipo di processo nasce nel corso degli anni ‘80 da una collaborazione tra l’Università di Venezia e la SNAM Progetti.

In questo caso il contenuto di sostanza solida che caratterizza il rifiuto trattato si pone nell’intervallo intermedio rispetto ai processi wet e dry, opera infatti con rifiuti con un contenuto in solidi del 15-20%.

Dal punto di vista impiantistico la soluzione adottata è quella di un reattore miscelato (CSTR) che può operare tanto in regime mesofilo che termofilo.

Anche in questo processo, come nei processi di tipo wet, si osserva la formazione di tre fasi distinte all’interno del reattore, anche se, in generale, il fenomeno è meno accentuato. Sarà comunque necessario prevedere, di tanto in tanto, lo svuotamento e la pulizia del fondo del reattore.

Il sistema di miscelazione è generalmente garantito da miscelatori meccanici che possono essere inoltre coadiuvati da lance a gas che provvedono a ricircolare il biogas prodotto per incrementare l’efficienza di miscelazione.

Può essere inoltre previsto il ricircolo del materiale presente nel digestore inviato alla caldaia e poi reimmesso nei digestori

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Tipologie di processi di digestione anaerobica – SEMI-DRY

Criterio	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	Semplicità dei sistemi di pompaggio e miscelazione;	Accumulo di materiali inerti sul fondo del reattore e necessità
	Possibilità di trattare il rifiuto da raccolta differenziata senza particolari	di scaricarli;
	pre-trattamenti;	Abrasione delle parti meccaniche;
		Pre-trattamenti complessi per RSU indifferenziato;
Biologico	Diluizione dei picchi di concentrazione di substrato o	Sensibilità ad eventuali shock per la presenza di sostanze
	sostanze tossiche;	inibitorie e carichi organici;
		Perdita di sostanza volatile biodegradabile nel corso dei
		pre-rattamenti
		del rifiuto indifferenziato;
Economico ed Ambientale	Spese ridotte per di sistemi di pompaggio e miscelazione.	Elevati costi di investimento a causa degli equipaggiamenti
		utilizzati per
		i pre-trattamenti
		e per i volumi dei reattori;
		Produzione di elevate quantità di acque di processo.

Parametro di processo	Intervallo
Solidi nel rifiuto trattato, %TS	15-20, fino a 25
Carico organico, kgVS/m^3d	8-12, fino a 18 in termofilia
Tempo di ritenzione idraulica, d	10-15
Rese di processo	
Produzione biogas, m^3/t rifiuto	100-150
Produzione specifica di biogas, m^3/kgVS	0.3-0.5
Velocità di produzione biogas, m3/m3d	3-6
Contenuto di metano, %CH4	55-60
Riduzione della sostanza volatile, %	40-50, fino al 60

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Tipologie di processi di digestione anaerobica – DRY

Nei processi dry il tenore in solidi del rifiuto alimentato al digestore è generalmente nell'intervallo 25-40% e pertanto solamente particolari rifiuti con elevato tenore di solidi (>50%) necessitano di essere diluiti con acqua per poter essere convenientemente trattati.

Ciò non comporta significative variazioni dal punto di vista biochimico e microbiologico nel processo anaerobico ma determina la necessità di una completa revisione dei metodi di trattamento per quanto concerne la tecnologia dei reattori.

Sono infatti necessari particolari metodi di pompaggio e miscelazione.

Infatti, a causa delle proprietà dei flussi trattati, il materiale organico viene trasportato con nastri e pompato attraverso il ricorso a speciali pompe appositamente progettate per operare con flussi molto viscosi.

Ciò incide sui costi di realizzazione di questo tipo di impianti.

Questi sistemi sono in grado di operare con flussi di materiale molto concentrati e resistono ai possibili problemi causati da sassi, vetro o legno che non causano inceppamenti o danni.

L'unico pre-trattamento richiesto è una preliminare vagliatura al fine di rimuovere il materiale con dimensioni superiori ai 40 mm.

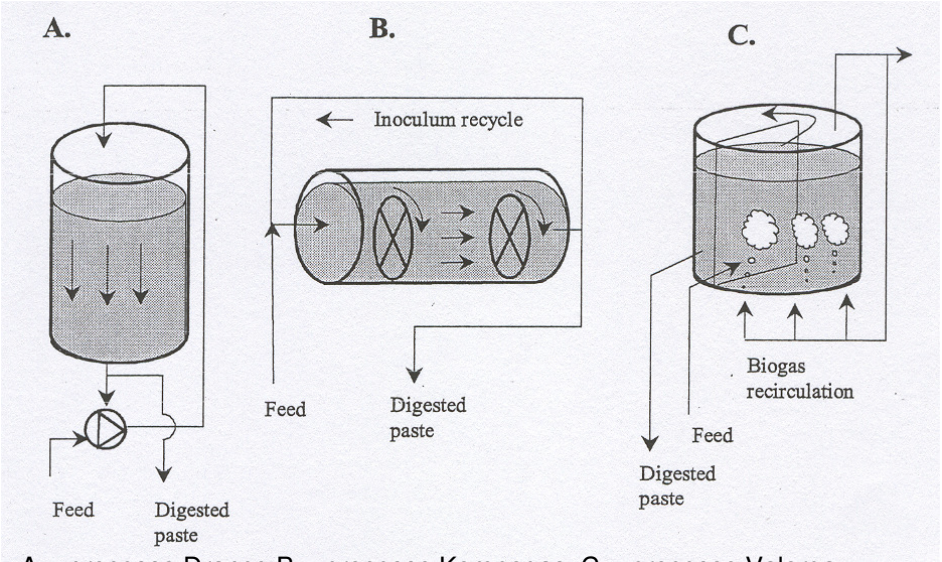
TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Tipologie di processi di digestione anaerobica – DRY

A causa della elevata densità e viscosità dei flussi trattati i reattori per il trattamento dry non sono del tipo completamente miscelato (CSTR) ma con flusso parzialmente o totalmente a pistone (plug-flow): ciò rende i reattori più semplici dal punto di vista meccanico ma comporta problemi di miscelazione tra il rifiuto organico fresco e la biomassa fermentante.

La risoluzione di questo problema è fondamentale per evitare fenomeni localizzati di sovraccarico organico ed eventuale acidificazione che porterebbe ad inibizione del processo di formazione di biogas.

Il fatto di operare con flussi molto densi porta inoltre al superamento del problema della suddivisioni di tre fasi distinte all'interno del reattore



A = processo Dranco;B = processo Kompogas; C = processo Valorga

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Tipologie di processi di digestione anaerobica – DRY

Dal punto di vista economico si evidenzia come nel caso dei processi di tipo dry gli elevati costi di investimento iniziale sono dovuti alla necessità di dotarsi di sistemi di trasporto e pompaggio del rifiuto organico da trattare che siano particolarmente resistenti e tecnologicamente avanzati.

Per contro, operando con rifiuti ad elevata concentrazione di sostanza solida, non sono necessari pre-trattamenti particolarmente raffinati ed i volumi dei reattori necessari sono ridotti: quindi le spese di costruzione dei reattori sono minori rispetto ai processi wet e semi -dry.

La ridotta dimensione del reattore si ripercuote poi favorevolmente in fase di esercizio sul bilancio energetico del reattore, dal momento che è necessario riscaldare una minor quantità di rifiuto da trattare.

Una differenza fondamentale tra i processi di tipo dry e quelli di tipo wet o semi -dry consiste nel ridotto utilizzo, nel caso di processi dry, di acqua per la diluizione dei rifiuti. Ne consegue che la quantità di acqua di scarico sarà ridotta.

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Tipologie di processi di digestione anaerobica – DRY

Criterio	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	Nessun bisogno di miscelatori interni al reattore; Robustezza e resistenza ad inerti pesanti e plastiche; Nessuna corto circuitazione idraulica;	Rifiuti con basso tenore in sostanza solida (< 20%TS) non possono essere trattati da soli;
Biologico	Bassa perdita di sostanza organica biodegradabile nei pre-trattamenti; Elevati OLR applicabili; Resistenza a picchi di concentrazione di substrato o sostanze tossiche;	Minima possibilità di diluire sostanze inibitorie e carichi organici eccessivi con acqua fresca;
Economico ed Ambientale	Pre-trattamenti minimi e più economici; Ridotti volumi dei reattori; Ridotto utilizzo di acqua fresca; Minime richieste di riscaldamento del reattore.	Elevati costi di investimento a causa egli equipaggiamenti utilizzati per il trattamento.

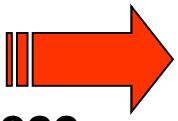
Parametro di processo	Intervallo
Solidi nel rifiuto trattato, %TS	25-40
carico organico, kgVS/m^3d	8-10
Tempo di ritenzione idraulica, d	25-30
Rese di processo	
Produzione biogas, m^3/t rifiuto	90-150
Produzione specifica di biogas, m^3/kgVS	0.2-0.3
Velocità di produzione biogas, m^3/m^3d	2-3
Contenuto di metano, %CH_4	50-60
Riduzione della sostanza volatile, %	50-70

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Utilizzo del biogas

Il biogas prodotto ha una composizione del tipo:

- ►**Metano: 60-70%**
- ►**Anidride carbonica: 30-23%**
- ►**Azoto: 2-5%**
- ►**Idrogeno, solforato, idrogeno ecc.**



PCI CH_4	34.325	[kJ/Nm3]
PCI BIOGAS 60% CH_4	20.595	[kJ/Nm3]
PCI BIOGAS 70% CH_4	24.028	[kJ/Nm3]

La produzione di biogas avviene alla pressione del digestore, generalmente vicina alla pressione atmosferica. Dal momento che lo stoccaggio ed il trasporto richiedono una compressione importante e quindi costi non trascurabili, si cerca in genere di utilizzarlo per la produzione di una forma di energia direttamente utilizzabile sul sito di produzione o con costi di trasporto ridotti.

Parte del biogas prodotto viene utilizzato per gli autoconsumi dell'impianto, mentre la restante parte può essere utilizzata per la produzione di energia da cedere all'esterno.

In particolare, per quanto riguarda gli usi interni, una parte (dal 15 al 25% dell'energia prodotta), può essere utilizzata per il riscaldamento dei digestori ed, eventualmente, per coprire il fabbisogno di energia elettrica dell'impianto (cogenerazione di calore ed elettricità).

L'utilizzo del biogas per il riscaldamento è variabile in funzione della stagione e del momento nella giornata; il riscaldamento è in genere attivo quando è in corso il caricamento del digestore.

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI PER RIFIUTI

Utilizzo del biogas

Il biogas in eccesso può essere valorizzato con diverse modalità, alcune delle quali particolarmente sviluppate.
Di seguito vengono riportate le principali possibilità di utilizzo.

- Produzione di calore sotto forma d'acqua calda, di vapore o d'aria calda, per il riscaldamento, l'essiccazione e processi industriali (disidratazione di percolati di discariche). Rendimento medio: 80-85%. Questa scelta comporta l'esistenza di un impiego locale (condomini per abitazione collettiva o terziaria, rete di teleriscaldamento, industrie).
- Produzione di elettricità, generalmente con motori alternativi a ciclo Diesel ed a ciclo Otto. Rendimento medio: 30-35%.
- Produzione combinata di calore e di elettricità con motori alternativi (cogenerazione). Rendimento medio: 80-85%, 50% per calore e 35% per elettricità.

TRATTAMENTI BIOLOGICI ANAEROBICI

Fonti

Manuale ANPA 13/2002 – “Il trattametno anaerobico dei rifiuti: aspetti progettuali e gestionali”
http://www.apat.gov.it/

Mata-Alvarez J., “Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste”, 2003 IWA Publishing